



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

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

AUTOR: ANDRÉS FERNANDO CAMINO ROMERO

**TEMA: INGENIERÍA CONCEPTUAL, BÁSICA Y DE DETALLE
PARA LA AUTOMATIZACIÓN DEL SISTEMA DE CONDUCCIÓN
DE AGUAS DE LA EPAM**

DIRECTOR: ING. ORTIZ, HUGO

CODIRECTOR: ING. SEGOVIA, XAVIER

SANGOLQUÍ, ENERO 2015

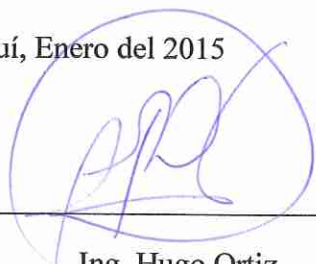
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS – ESPE**INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA, AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL*****CERTIFICADO*****Ing. Hugo Ortiz****Ing. Xavier Segovia*****CERTIFICAN***

Que el trabajo titulado “Ingeniería Conceptual, Básica y de Detalle para la Automatización del sistema de conducción de aguas de la EPAM”, realizado por Andrés Fernando Camino Romero, ha sido guiado y revisado periódicamente y cumple normas estatutarias establecidas por la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE.

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

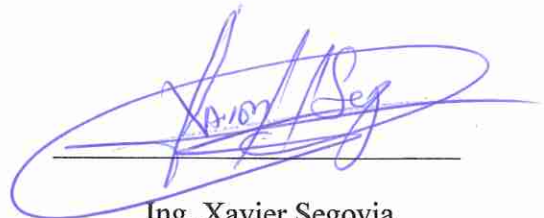
El mencionado trabajo consta de un documento empastado y un disco compacto el cual contiene los archivos en formato portátil de Acrobat (pdf.). Autorizan a Andrés Fernando Camino Romero que lo entregue al Ingeniero Luis Orozco en su calidad de Coordinador de la Carrera.

Sangolquí, Enero del 2015



Ing. Hugo Ortiz

DIRECTOR



Ing. Xavier Segovia

CODIRECTOR

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS – ESPE

INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA, AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

ANDRÉS FERNANDO CAMINO ROMERO

DECLARO QUE:

El proyecto de grado denominado “*Ingeniería Conceptual, Básica y de Detalle para la Automatización del sistema de conducción de aguas de la EPAM*”, ha sido desarrollado con base a una investigación exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros, conforme las citas que constan al pie, de las páginas correspondientes, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía.

Consecuentemente este trabajo es de mi autoría.

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

Sangolquí, Enero del 2015



Andrés Fernando Camino Romero

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

AUTORIZACIÓN

Yo, Andrés Fernando Camino Romero

Autorizo a la UNIVERSIDAD DE LA FUERZAS ARMADAS - ESPE la publicación, en la biblioteca virtual de la Institución del trabajo “Ingeniería Conceptual, Básica y de Detalle para la Automatización del sistema de conducción de aguas de la EPAM”, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y autoría.

Sangolquí, Enero del 2015



Andrés Fernando Camino Romero

DEDICATORIA

Este proyecto va dedicado a las personas más importantes en mi vida que me han apoyado e inspirado en cada momento, sobretodo mis papás Gino y Gisela que son los que me han dado todo lo necesario para la consecución de mis objetivos y que sin ellos mi vida no sería tan hermosa como ha sido, de igual manera mis hermanos David y Cristina con los cuales he compartido hermosos momentos desde pequeños y por ultimo a mi mayor fuente de inspiración el amor de mi vida Mónica la cual será la mujer que me acompañara el resto de mi vida.

AGRADECIMIENTO

Mi agradecimiento va para las personas que me han ayudado durante toda la carrera y en este proyecto, mi mamá que me ha brindado todo su apoyo y dedicación, mi papá que ha sido más que un maestro y del cual he aprendido mucho, mis abuelos Esther y Leonardo que siempre me han alentado con mis estudios, y de igual manera mi tío Byron que ha sido una pieza importante en el desarrollo de este proyecto de inicio a fin.

INDICE GENERAL

CAPITULO 1	1
PRELIMINARES	1
1.1. Antecedentes.....	1
1.2. Justificación e Importancia.....	9
1.3. Alcance	9
1.4. Objetivos.....	12
1.4.1. General.....	12
1.4.2. Específicos.....	12
1.5. Descripción general del proyecto.....	13
1.5.1. Equipos y elementos actualmente existentes.....	14
1.5.2. Requerimientos técnicos del sistema.....	16
CAPITULO 2	19
MARCO TEÓRICO	19
2.1. Sistemas de conducción de aguas.....	19
2.1.1. Tuberías de conducción.....	19
2.1.2. Tuberías de Descarga.....	21
2.1.3. Tuberías de Impulsión.....	21
2.1.4. Tanques de succión y descarga.....	21
2.1.5. Estaciones de bombeo.....	22
2.1.5.1. Clasificación de las bombas.....	23
2.1.5.2. Conexiones de bombas.....	25
2.1.6. Válvulas.....	26
2.2. Sistemas de instrumentación.....	29
2.2.1. Sensores de presión.....	30
2.2.1.1. Elementos mecánicos.....	30
2.2.1.2. Elementos electromecánicos.....	31
2.2.2. Sensores de caudal.....	34

2.2.3. Sensores de nivel	37
2.2.4. Sensores de temperatura.	39
2.3. Sistemas de control	41
2.3.1. Control en Lazo Cerrado en comparación con el control en Laza Abierto.	43
2.4. Sistemas de comunicación	45
2.4.1. Medio de trasmisión.	45
2.4.2. Tipos de redes según su capacidad de cobertura.	47
2.4.3. Clasificación de las topologías de red.	49
2.4.4. Arquitectura de comunicación	50
2.5. Sistemas de supervisión y monitoreo.	51
2.5.1. Sistemas SCADA.	51
2.5.2. Redes Industriales.....	55
2.5.2.1. Sistemas de control de una red industrial.	57
2.5.3. Interconexión de redes.....	59
2.5.4. Enlaces ISM banda de 900 MHz.	60
2.5.5. Comunicación y redes VPN.	62
CAPITULO 3	67
INGENIERÍA CONCEPTUAL Y BASICA.....	67
3.1. Ingeniería conceptual para subsistema de instrumentación	67
3.1.1. Requerimientos necesarios en el sistema de instrumentación.	67
3.1.2. Análisis de elementos de instrumentación existentes.....	68
3.1.3. Viabilidad y disponibilidad técnica para el sistema de Instrumentación.	73
3.1.4. Señales y variables a ser medidas.....	74
3.1.5. Esquema de ubicación para cada elemento de medida.....	81
3.2. Ingeniería conceptual para subsistema de control.	83
3.2.1. Requerimientos necesarios dentro del sistema de control.	83
3.2.2. Análisis de elementos de control y actuadores existentes.	84
3.2.3. Viabilidad y disponibilidad técnica para el sistema de control.	89
3.2.4. Elementos y variables a ser controladas.	91
3.2.5. Esquema de ubicación de cada elemento de control.	95
3.3. Ingeniería conceptual para subsistema de comunicación.	97

3.3.1. Requerimientos necesarios dentro del sistema de comunicación.	97
3.3.2. Plataformas y tecnologías de comunicación existentes.	98
3.3.3. Viabilidad y disponibilidad técnica para sistema de comunicación.	105
3.3.4. Esquema de topología de red y arquitectura de comunicación.	106
3.4. Ingeniería conceptual para subsistema de supervisión y monitoreo.	108
3.4.1. Requerimientos necesarios dentro del sistema de supervisión y monitoreo.	108
3.4.2. Análisis de elementos a monitorear y controlar.	109
3.4.3. Viabilidad y disponibilidad técnica para el sistema de supervisión.	111
3.4.4. Esquemas de arquitectura de control a ser desarrollada.	112
3.5. Ingeniería básica para subsistema de instrumentación.	115
3.5.1. Análisis y revisión de instrumentos necesarios y existentes.	115
3.5.2. Elaboración de diagramas P&ID preliminares para cada acueducto.	119
3.5.3. Elaboración de diagramas unifilares eléctricos para los sensores.	123
3.5.4. Selección y análisis de equipos de instrumentación según tecnología y prestaciones.	127
3.5.5. Cálculos preliminares necesarios para cada una de las señales de instrumentación.	135
3.5.6. Análisis de instrumentos existentes en el mercado.	141
3.6. Ingeniería básica para subsistema de control.	143
3.6.1. Análisis y revisión de elementos de control necesarios y existentes.	143
3.6.2. Elaboración de diagramas de control para cada uno de los elementos seleccionados.	145
3.6.3. Elaboración de diagramas unifilares para instalaciones eléctricas de controladores y actuadores.	147
3.6.4. Cálculos preliminares necesarios para acciones de control.	150
3.6.5. Selección y análisis de equipos de control según tecnología y prestaciones.	154
3.6.6. Realizar un análisis de equipos de control disponibles en el mercado.	158
3.7. Ingeniería Básica para subsistema de comunicación.	160
3.7.1. Análisis y revisión de plataformas de comunicación existentes.	160
3.7.2. Elaboración de diagramas de arquitectura de comunicación.	163
3.7.3. Cálculos preliminares para el sistema de comunicación.	167
3.7.4. Selección y análisis de equipos de comunicación.	170
3.7.5. Análisis de tecnologías de comunicación existentes en el mercado.	175

3.8.	Ingeniería básica para subsistema de supervisión y monitoreo.	179
3.8.1.	Análisis y revisión de elementos de supervisión y monitoreo necesarios.	179
3.8.2.	Elaboración de diagramas de arquitectura de control.	181
3.8.3.	Selección y análisis de equipos de monitoreo.	185
3.8.4.	Selección y análisis de software de monitoreo.	186
3.8.5.	Realizar un análisis de equipos y software de monitoreo disponible en el mercado.	188
CAPITULO 4		191
INGENIERÍA DE DETALLE		191
4.1.	Ingeniería de Detalle para el sistema de Instrumentación.	191
4.1.1.	Levantamiento de planos y diagramas eléctricos de montaje.	191
4.1.1.1.	Planos eléctricos para los instrumentos del acueducto Caza Lagarto – El Colorado.	191
4.1.1.2.	Planos eléctricos para los instrumentos del acueducto El Ceibal – Azúa.	195
4.1.2.	Elaboración de planos P&ID definitivos para el sistema.	198
4.1.2.1.	Diagramas P&ID para los procesos del acueducto Caza Lagarto – El Colorado.	198
4.1.2.2.	Diagramas P&ID para los procesos del acueducto El Ceibal – Azúa.	200
4.1.3.	Diseño de sistema para adquisición de datos.	202
4.1.3.1.	Direccionamiento de señales de los instrumentos a los controladores del acueducto Caza Lagarto – El Colorado.	202
4.1.3.2.	Direccionamiento de señales de los instrumentos a los controladores del acueducto El Ceibal – Azúa.	205
4.1.3.3.	Configuración de los instrumentos seleccionados.	207
4.1.3.4.	Adquisición de datos y señales para la instrumentación del acueducto Caza Lagarto – El Colorado.	224
4.1.3.5.	Adquisición de datos y señales para la instrumentación del acueducto EL Ceibal – Azúa.	234
4.1.3.6.	Selección de conductores eléctricos para alimentación y respuesta de sensores.	242
4.1.3.7.	Parametrizar cada uno de los instrumentos a usarse.	244
4.2.	Ingeniería de Detalle para el sistema de Control.	246
4.2.1.	Levantamiento de planos y diagramas eléctricos de montaje	246

4.2.1.1. Diagramas eléctricos para conexión de tableros de control en el acueducto Caza Lagarto - El Colorado.....	246
4.2.1.2. Diagramas eléctricos para conexión de tableros de control en el acueducto El Ceibal – Azúa.....	250
4.2.2. Parametrización de equipos y elementos de control.....	252
4.2.3. Dimensionamiento y selección de conductores, elementos de protección, dispositivos de maniobra y relés.....	254
4.2.4. Parámetros de configuración para arrancadores suaves y variador de frecuencia.	262
4.2.5. Diseño del software y lógica de control del sistema de control.	263
4.2.5.1. Diseño de lógica de control y software para la operación de cada una de las unidades de bombeo, válvulas, tanques de almacenamiento y distribución	263
4.2.5.2. Diseño de lógica de control y software para el control del bombeo de agua en caso de fugas.	277
4.2.5.3. Diseño de la lógica de control y software para la operación integrada en la conducción de cada uno de los acueductos y operación remota del sistema.	279
4.3. Ingeniería de Detalle para el sistema de Supervisión y Monitoreo.	283
4.3.1. Requerimiento de interfaz HMI.....	283
4.3.2. Diseño de pantallas de HMI.	285
4.3.3. Diseño de la lógica de operación y control de la interfaz HMI.	294
4.3.4. Diseño de sistema generador de reportes y alarmas.	305
4.3.5. Diseño de base de datos integrada al sistema.	311
4.3.6. Diseño de red de controladores y operación integrada.....	326
4.4. Ingeniería de detalle para el sistema de comunicación.	336
4.4.1. Propuesta y selección de tecnología y equipos.....	337
4.4.2. Esquema de montaje y ubicación para sistema de comunicación.	342
4.4.3. Parametrización de cada equipo de comunicación.....	355
4.4.4. Topología de red y direccionamiento IP.	357
4.5. Diseño de la lógica de control, operación y software para cada uno de los subsistemas desarrollados en el proyecto de manera que se trabaje como un solo sistema.	364
4.5.1. Características claves del sistema de automatización para la conducción de aguas.	367

4.5.2. Configuración de pasarela o driver OPC DDE para comunicación entre InTouch y RSLinx.	369
CAPITULO 5	373
SIMULACIÓN	373
5.1. Simulación de la lógica de control desarrollada.	373
5.2. Simulación de pantallas HMI desarrolladas.	379
CAPITULO 6	384
PRUEBAS Y RESULTADOS	384
6.1. Pruebas.	384
6.2. Resultados.....	391
CAPITULO 7	393
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	393
7.1. Conclusiones.....	393
7.2. Recomendaciones.	396
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	398
ANEXO A.....	Error! Bookmark not defined.
DIAGRAMAS P&ID	Error! Bookmark not defined.
ANEXO B	Error! Bookmark not defined.
PLANOS ELÉCTRICOS	Error! Bookmark not defined.
ANEXO C	Error! Bookmark not defined.
PROGRAMACIÓN PLC	Error! Bookmark not defined.
ANEXO D.....	Error! Bookmark not defined.
PANTALLAS HMI.....	Error! Bookmark not defined.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Estación de bombeo Caza Lagarto.....	2
Figura 2 Tanque Cruz Verde, capacidad 5000 m ³	3
Figura 3 Tanque Intermedio, capacidad 5000 m ³	4
Figura 4 Acueducto El Ceibal – Azúa, longitud 31 Km	4
Figura 5 Estación de bombeo Caza Lagarto.....	5
Figura 6 Tanque del cerro el Mocochal, Carga y Descarga, capacidad 1000 m ³	6
Figura 7 Tanque de almacenamiento en Rio de Oro. Capacidad 1000 m ³	7
Figura 8 Estación de bombeo Río de Oro	7
Figura 9 Acueducto Caza Lagarto - El Colorado	8
Figura 10 Diagrama de bloques del sistema de automatización y sus interrelaciones.	14
Figura 11 Esquema genérico de un suministro de bombeo.....	23
Figura 12 Partes de una bomba centrífuga	24
Figura 13 Conexiones de bombas en serie	25
Figura 14 Conexiones de bombas en paralelo.....	26
Figura 15: Válvulas de alta presión y gran diámetro	27
Figura 16 Válvulas Check o de retención	27
Figura 17 Válvulas cónicas, esféricas o de bola.....	28
Figura 18: Válvula de desagote y limpieza	29
Figura 19: Válvula de Mariposa	29
Figura 20 Transductor Resistivo	32
Figura 21 Transductor de Inductancia variable	33
Figura 22 Transductor piezoeléctrico.....	34
Figura 23: Medidores de caudal ultrasónico	35
Figura 24 Medidor magnético de caudal.....	36
Figura 25 Transductor ultrasónico de nivel.....	38

Figura 26 Diagrama de bloques de un transductor ultrasónico	38
Figura 27 Termopar y uniones de metales	40
Figura 28 Ejemplo de sistemas de control, Control de Temperatura	42
Figura 29 Ámbito de aplicación de los distintos tipos de redes según los parámetros	48
Figura 30 Topología de red, a) malla, b) estrella, c) árbol, d) bus, e) anillo	49
Figura 31 Componentes de un típico sistema SCADA	53
Figura 32 Pirámide de las comunicaciones dentro de la industria	57
Figura 33 Sistema de control centralizado	58
Figura 34 Sistema de control distribuido	59
Figura 35: Diagrama de una VPN en una organización.....	62
Figura 36 Sensores de presión y caudal Sparling, modelo FM656	70
Figura 37 Manómetro ubicado a la salida de un grupo de bombeo, estación El Ceibal ..	71
Figura 38 Sensor de caudal Siemens SONO 3100.....	72
Figura 39: Elementos de la ecuación de continuidad	76
Figura 40 Esquema de ubicación de los sensores en la estación de bombeo Caza Lagarto	81
Figura 41 Esquema de ubicación de los sensores en la estación de bombeo Río de Oro.....	82
Figura 42 Esquema de ubicación de sensores en la estación El Ceibal	83
Figura 43 Válvula de mariposa usada para el control de caudal.....	85
Figura 44 Válvula mariposa para control de caudal, 600 mm	86
Figura 45. Válvula mariposa para control de caudal, 400 mm	88
Figura 46. Esquema de ubicación de elementos de control en la estación El Ceibal.....	96
Figura 47. Esquema de ubicación de elementos de control en la estación Caza Lagarto	96
Figura 48. Esquema de ubicación de elementos de control para la estación Río de Oro	97
Figura 49. Topología de red para el sistema de comunicación del acueducto Caza Lagarto – EL Colorado.....	107
Figura 50: Topología de red para el sistema de comunicación del acueducto El Ceibal – Azúa.	108
Figura 51. Arquitectura de control para el sistema de automatización del acueducto Caza Lagarto - El Colorado.....	113

Figura 52. Esquema de arquitectura de control para el sistema de automatización del acueducto El Ceibal - Azúa.	114
Figura 53 Diagrama P&ID para la estación de bombeo Caza Lagarto.	120
Figura 54. Diagrama P&ID para la estación de bombeo Rio de Oro.	121
Figura 55. Diagrama P&ID de la estación de bombeo El Ceibal.	122
Figura 56. Diagrama P&ID para el tanque del cerro Mocochal.	123
Figura 57. Diagrama P&ID para los tanques Cruz Verde e Intermedio.	123
Figura 58. Sensor de caudal Sparling Tigermag EP, conexiones eléctricas.	124
Figura 59. Sensor de flujo Siemens SONO 3100, conexiones eléctricas.	125
Figura 60: Sensor de presión Allen Bradley, 836 E, conexiones eléctricas.	126
Figura 61. Sensor de temperatura existente en cada uno de los motores eléctricos.	126
Figura 62. Conexiones eléctricas para el sensor de nivel Siemens The Probe.	127
Figura 63. Instalación del sensor Sparling, FM656 TIGERMAG EP.	130
Figura 64. Sensor de presión Allen Bradley 836 E.	133
Figura 65. Sensor de nivel Siemens ultrasónico The Probe, instalación del transmisor.	134
Figura 66. Respuesta del sensor Sparling para 400 mm.	136
Figura 67. Respuesta del sensor Siemens para 800 mm.	137
Figura 68. Respuesta del sensor de presión 836 E de AB.	138
Figura 69. Respuesta del sensor de nivel Siemens The Probe.	139
Figura 70: Respuesta en corriente del sensor de temperatura instalado en los motores.	140
Figura 71. Diagrama de control para la automatización de la estación Caza Lagarto.	145
Figura 72. Diagrama de control para tanque del cerro Mocochal.	146
Figura 73. Diagrama de control de la estación Rio de Oro.	146
Figura 74. Diagrama de control de Cruz Verde, Intermedio, Azúa.	147
Figura 75. ABB Soft Starter 2300 V - 600 HP, conexiones eléctricas.	149
Figura 76. Diagrama de conexiones eléctricas para variador de frecuencia Schneider Altivar 61.	149
Figura 77. Diagrama de tiempos para arranque de los motores.	154
Figura 78. PLC Allen Bradley, Contrologix, 1756-L71.	158
Figura 79. Esquema de arquitectura de comunicación para el acueducto Caza Lagarto – El Colorado.	165

Figura 80. Esquema de arquitectura de control para el acueducto El Ceibal - Azúa.	166
Figura 81. Plataforma de comunicación Orbit MDS, Digital Energy, puerto y dimensiones	172
Figura 82. Topología de comunicación mediante el uso de plataforma Orbit con red celular 3G.	177
Figura 83. Comunicación en banda no licenciada de 900 MHz, Plataforma Orbit	178
Figura 84. Registrador de Caudal Sparling Tigermag FM656	180
Figura 85. Registrador de caudal Siemens SONO 3000	181
Figura 86. Arquitectura de control para la estación de bombeo Caza Lagarto.	182
Figura 87. Arquitectura de control para estación de Bombeo Río de Oro.	182
Figura 88. Arquitectura de control para varios puntos del acueducto Caza Lagarto - El Colorado.	183
Figura 89: Arquitectura de control para estación de bombeo El Ceibal.	184
Figura 90. Arquitectura de control para varios puntos del acueducto El Ceibal – Azúa.	184
Figura 91. Sensor Sparling Tigermag EP FM656, pantalla y botones de configuración	208
Figura 92: Programa principal de navegación entre los menús y parámetros de configuración para el sensor FM656	212
Figura 93. Sensor Siemens SONO 3100, botones y pantalla de configuración	213
Figura 94. Navegación SONO 3100, selección magnitud y unidad	216
Figura 95. Navegación, selección y configuración de la salida por corriente para el sensor SONO 3100	217
Figura 96. Vista completa del menú, parte 1/3, OPERATOR, SETUP, CONVERTER Y BASIC	218
Figura 97. Vista completa del menú, parte 2/3, OUTPUT, CHARACTERISTICS, RESET, SERVICE	219
Figura 98. Vista completa del menú, parte 3/3, LANGUAGE, OPERATOR SETUP, USER CODE	220
Figura 99. Interfaz de configuración, sensor AB 836E	220

Figura 100: Configuración del módulo de entradas analógicas aisladas 1756-IF6I, RSLogix 5000	224
Figura 101. Configuración del módulo de entradas analógicas AB 1756-IF8.....	235
Figura 102. Actuador eléctrico para apertura y cierre de válvulas, Coester CRS 6	256
Figura 103. Tabla de selección de calibre AWG para conductores eléctricos de cobre.	259
Figura 104. Schneider Compact NS800N, conexión y montaje en la estación Río de Oro.....	261
Figura 105. Interruptor automático, Masterpact Schneider.....	261
Figura 106. Intercambio de variables para el control de fugas, Caza Lagarto – El Colorado	280
Figura 107. Intercambio de variables para el control de fugas, El Ceibal – Azúa	281
Figura 108. Arquitectura de pantallas de supervisión para el acueducto Caza Lagarto – El Colorado	285
Figura 109. Arquitectura de pantallas de supervisión para el acueducto El Ceibal – Azúa	287
Figura 110: Plantilla de interfaces para la pantalla principal	289
Figura 111: Plantilla de interfaces para la pantalla de estaciones de bombeo	289
Figura 112: Plantilla para pantallas de gráficos de tendencia de las estaciones de bombeo	290
Figura 113: Plantilla de interfaces para pantallas de Tanques.	290
Figura 114: Plantillas de interfaces para pantalla de interconexiones	291
Figura 115. Lógica de navegación para pantallas del sistema Caza Lagarto – El Colorado	294
Figura 116. Lógica de navegación para pantallas del sistema El Ceibal – Azúa	295
Figura 117: Driver para comunicación entre InTouch y HMI REPORTS	306
Figura 118: Selección de tags desde la aplicación de InTouch para el sistema Caza Lagarto - El Colorado.....	306
Figura 119: Configuración de periodos de tiempo y horarios para la generación de reportes del sistema Caza Lagarto - El Colorado	307

Figura 120. Selección de tags desde la aplicación de InTouch para el sistema El Ceibal – Azúa	309
Figura 121. Configuración de periodos de tiempo y horarios para la generación de reportes del sistema El Ceibal – Azúa.....	310
Figura 122. Tabla de base de datos ALARMAS_FUGAS del sistema Caza Lagarto – El Colorado	313
Figura 123. Tabla de base de datos ALARMAS_NIVEL del sistema Caza Lagarto – El Colorado	314
Figura 124. Tabla de base de datos ALARMAS_TEMPERATURAS del sistema Caza Lagarto – El Colorado	314
Figura 125. Tabla de base de datos DATOS_CAUDAL del sistema Caza Lagarto – El Colorado	315
Figura 126. Configuración de conectividad ODBC para el sistema Caza Lagarto - El Colorado	316
Figura 127. BindList CAUDAL para asociación de tags con la tabla DATOS_CAUDAL, Caza Lagarto – El Colorado	317
Figura 128. BindList FUGAS para asociación de tags con la tabla ALARMAS_FUGAS, Caza Lagarto – El Colorado	317
Figura 129. BindList NIVEL para asociación de tags con la tabla ALARMAS_NIVEL, Caza Lagarto – El Colorado	318
Figura 130. BindList TEMPERATURA para asociación de tags con la tabla ALARMAS_TEMPERATURAS, Caza Lagarto – El Colorado.....	318
Figura 131. Script para control de base de datos del sistema Caza Lagarto - El Colorado	319
Figura 132. Tabla de base de datos ALARMAS_FUGAS del sistema El Ceibal – Azúa	320
Figura 133. Tabla de base de datos ALARMAS_NIVEL del sistema El Ceibal – Azúa	321
Figura 134. Tabla de base de datos ALARMAS_TEMPERATURAS del sistema El Ceibal – Azúa	321
Figura 135. Tabla de base de datos DATOS_CAUDAL del sistema El Ceibal – Azúa	322

Figura 136. Configuración de conectividad ODBC para el sistema El Ceibal – Azúa..	322
Figura 137. BindList CAUDAL para asociación de tags con la tabla DATOS_CAUDAL, El Ceibal – Azúa	323
Figura 138. BindList FUGAS para asociación de tags con la tabla ALARMAS_FUGAS, El Ceibal – Azúa.....	324
Figura 139. BindList NIVEL para asociación de tags con la tabla ALARMAS_NIVEL, El Ceibal – Azúa	324
Figura 140. BindList TEMPERATURA para asociación de tags con la tabla ALARMAS_TEMPERATURA, El Ceibal – Azúa	325
Figura 141. Script para control de base de datos del sistema El Ceibal – Azúa	326
Figura 142. Transmisión y recepción de datos del tipo Productor – Consumidor	328
Figura 143. Edición de tags de controlador en programa RSLogix 5000	333
Figura 144. Cuadro de dialogo para configuración de tag como producido	334
Figura 145. Configuración de conexión para los tag Producidos	334
Figura 146. Cuadro de dialogo para configuración de tag como consumido	335
Figura 147. Configuración de conexión para tags Consumidos.....	336
Figura 148. Descripción de partes del switch Cisco-3000-8TC.....	342
Figura 149: Ubicación y distribución de estaciones involucradas en la red de comunicación.	343
Figura 150. Ubicación de los puntos Caza Lagarto y Mocochal	345
Figura 151. Perfil topográfico para radio enlace entre Mocochal (izquierdo) y Caza Lagarto (derecho), distancia 1.4 Km.....	345
Figura 152. Ubicación de puntos Mocochal y Loma Blanca	346
Figura 153. Perfil topográfico para enlace Loma Blanca (izquierda) - Mocochal (Derecha).....	346
Figura 154. Perfil topográfico entre los puntos Río de Oro (Izquierda) y Mocochal (Derecha).....	347
Figura 155. Perfil topográfico entre los puntos Río de Oro (Izquierda) y Loma Blanca (Derecha).....	347
Figura 156. Ubicación geográfica de los puntos, Río de Oro, Las Palmas y El Colorado.....	348

Figura 157. Perfil topográfico entre Las Palmas y Río de Oro.....	349
Figura 158. Perfil entre los puntos Las Palmas y Río de Oro	349
Figura 159. Ubicación del Edificio Matriz, El Colorado y Tanque Intermedio.....	350
Figura 160. Perfil Topográfico para radio enlace entre Matriz (Izquierda) - Colorado (Derecha).....	351
Figura 161. Ubicación de la estación El Ceibal y tanque Cruz Verde	352
Figura 162. Perfil Topográfico entre El Ceibal (Izquierda) - Cruz Verde (Derecha)	352
Figura 163. Ubicación de los puntos Intermedio y Azua	353
Figura 164. Perfil entre los puntos Intermedio y Cruz Verde	353
Figura 165. Perfil Topográfico para radio enlace entre Intermedio (Izquierda) - Matriz (Derecha)	354
Figura 166. Perfil topográfico entre los puntos Azua (Izquierda) y El Colorado (Derecha).....	355
Figura 167. Topología de red y propuesta de conectividad para la red del acueducto Caza Lagarto - El Colorado.....	358
Figura 168. Topología de red y propuesta de conectividad para la red del acueducto El Ceibal – Azúa	362
Figura 169. Topología de red y propuesta de conectividad para la red de los dos acueductos	363
Figura 170. Diagrama de bloques e interrelaciones en el sistema Caza Lagarto - El Colorado	365
Figura 172. Creación y asociación de tópicos y drivers para la comunicación DDE/OPC.....	370
Figura 173. Creación del tag ECE_ACT en InTouch, comunicación DDE/OPC.....	371
Figura 174. Configuración de tag para comunicación DDE/OPC y asociación con el PLC.....	371
Figura 175. Configuración de Acces Name para DDE/OPC de RSLinx	372
Figura 176. Pantalla de control para la simulación de operación El Ceibal.....	375
Figura 177. Pantalla de control para la simulación de operación Caza Lagarto	376
Figura 178. Pantalla de control para la simulación de operación Río de Oro.....	377

Figura 179. Pantalla de simulación para detección de fugas en el acueducto Caza Lagarto - El Colorado.....	378
Figura 180. Pantalla de simulación para detección de fugas en el acueducto El Ceibal – Azúa	378
Figura 181. Simulación de pantalla principal para sistema Caza Lagarto - El Colorado	379
Figura 182. Simulación de pantalla Caza Lagarto	380
Figura 183. Simulación de pantalla Mocochoal.....	380
Figura 184. Simulación de pantalla Río de Oro	381
Figura 185. Simulación de pantalla principal para sistema El Ceibal – Azúa	382
Figura 186. Simulación de pantalla El Ceibal.....	382
Figura 187. Simulación de pantalla Cruz Verde	383
Figura 188. Simulación de pantalla Intermedio	383
Figura 189. Pruebas de ingreso en la base de datos CAZA_COLORADO, de la tabla ALARMAS FUGAS	389
Figura 190. Pruebas de ingreso en la base de datos CAZA_COLORADO, de la tabla ALARMAS_NIVEL	389
Figura 191. Prueba de ingreso de valores en la base de datos CEIBAL_AZÚA, de la tabla ALARMAS_TEMPERATURA.....	390
Figura 192. Prueba de ingreso de valores en la base de datos CEIBAL_AZÚA, de la tabla DATOS_CAUDAL	390

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Características del sensor de caudal FM656	69
Tabla 2 Características de medidor de caudal Siemens, SONO 3100	72
Tabla 3 Magnitudes y rango de medida en la estación Caza Lagarto	76
Tabla 4 Variable y rango de medida para la estación Río de Oro	78
Tabla 5 Variables y rangos de medida en estación El Ceibal	79
Tabla 6 Características de operación del motor US MOTORS 5811	85
Tabla 7 Características de ABB SoftStarter SSM 2300 V / 600 HP	86
Tabla 8 Características de trabajo del motor US MOTORS 5870 Titan Line	87
Tabla 9. Características de operación del variador de frecuencia Schneider Altivar 61 ..	87
Tabla 10 Características de operación del motor ABB AC MACHINE 77430	88
Tabla 11 Características principales de Profibus	100
Tabla 12 Principales características Ethernet 802.3	102
Tabla 13 Principales características de Profinet.....	103
Tabla 14. Comparación entre sensores de caudal de los fabricantes Siemens y Sparling.	141
Tabla 15. Comparación entre sensores de presión de los fabricantes Siemens y Allen Bradley.	142
Tabla 16. Comparación entre sensores de nivel de los fabricantes Allen Bradley y Siemens.	142
Tabla 17. Comparación entre arrancadores suaves ABB Y MOTORTRONICS.	159
Tabla 18. Comparación entre variadores de frecuencia SCHNEIDER ALTIVAR 61 y AB POWERFLEX 755 AC DRIVE.....	160
Tabla 19. Comparación entre controladores de Allen Bradley y Siemens	160
Tabla 20. Recursos y características de Ethernet IP del tipo industrial	162
Tabla 21. Selección de equipos de operación banda celular de la plataforma Orbit.....	177

Tabla 22. Selección de equipos de operación banda celular de la plataforma Orbit.....	179
Tabla 23. Características de los diferentes registradores de caudal Siemens	189
Tabla 24. Descripción de elementos presentes en la estación Caza Lagarto, P&ID.....	198
Tabla 25. Descripción de elementos de la estación Río de Oro, P&ID	199
Tabla 26. Descripción de elementos en Tanque Mocochal, P&ID	200
Tabla 27. Descripción de elementos presentes en la estación El Ceibal, P&ID	200
Tabla 28. Descripción elementos tanque Cruz Verde, P&ID	201
Tabla 29. Descripción elementos tanque Intermedio, P&ID	201
Tabla 30. Direccionamiento de señales, instrumentación Caza Lagarto	202
Tabla 31. Direccionamiento señales, instrumentación Mocochal.....	203
Tabla 32. Direccionamiento de señales, instrumentación Loma Blanca.	203
Tabla 33. Direccionamiento de señales, instrumentación Río de Oro	204
Tabla 34. Direccionamiento de señales, instrumentación Las Palmas	204
Tabla 35. Direccionamiento de señales, instrumentación El Colorado	205
Tabla 36. Direccionamiento de señales, instrumentación El Ceibal	205
Tabla 37. Direccionamiento de señales, instrumentación Cruz Verde	206
Tabla 38. Direccionamiento de señales, instrumentación Intermedio	206
Tabla 39. Direccionamiento de señales, instrumentación Azúa	207
Tabla 40. Configuraciones básicas del sensor AB 836E.....	222
Tabla 41. Configuraciones de respuesta del sensor AB 836E.....	223
Tabla 42. Tags para las señales y variables de instrumentación en Caza Lagarto	225
Tabla 43. Tags para las señales y variables de instrumentación en Mocochal	227
Tabla 44. Tags para las señales y variables de instrumentación en Loma Blanca.	228
Tabla 45. Tags para las señales y variables de instrumentación en Río de Oro.....	230
Tabla 46. Tags para las señales y variables de instrumentación en Las Palmas	232
Tabla 47. Tags para las señales y variables de instrumentación en El Colorado	233
Tabla 48. Tags para las señales y variables de instrumentación en El Ceibal	235
Tabla 49. Tags para las señales y variables de instrumentación en Cruz Verde.....	238
Tabla 50. Tags para las señales y variables de instrumentación en Intermedio	239
Tabla 51. Tags para las señales y variables de instrumentación en Azúa	241

Tabla 52. Partes y elementos existentes en los diagramas de conexión eléctrica, estación Caza Lagarto	247
Tabla 53. Partes y elementos existentes en los diagramas de conexión eléctrica, estación Río de Oro	249
Tabla 54. Partes y elementos existentes en los diagramas de conexión eléctrica, estación El Ceibal	251
Tabla 55. Características de interruptor COMPACT NS 800 A	260
Tabla 56. Características y parámetros de configuración, variador de frecuencia Schneider Altivar 61	262
Tabla 57. ABB SSM, arrancador suave, parámetros de configuración.....	263
Tabla 58. Descripción de entradas y Tag para el controlador de la estación Caza Lagarto	264
Tabla 59. Descripción de salidas y Tag para el controlador de la estación Caza Lagarto	265
Tabla 60. Descripción de salidas y Tag para el controlador del tanque Mocochoal.....	266
Tabla 61. Descripción de entradas y Tag para el controlador de la estación Río de Oro.....	267
Tabla 62. Descripción de salidas y Tag para el controlador de la estación Río de Oro.	268
Tabla 63. Descripción de entradas y Tag para el controlador de la estación El Ceibal .	269
Tabla 64. Descripción de salidas y Tag para el controlador de la estación El Ceibal....	270
Tabla 65. Descripción de salidas y Tag para el controlador del tanque Cruz Verde	271
Tabla 66. Descripción de salidas y Tag para el controlador del tanque Intermedio	273
Tabla 67. Matriz Causa - Efecto para la lógica de control de estaciones de bombeo	276
Tabla 68. Asociación de tags y variables para los controladores Caza Lagarto y Río de Oro.....	282
Tabla 69. Asociación de tags y variables para los controladores de Caza Lagarto y Mocochoal.....	282
Tabla 70. Asociación de tags y variables para los controladores de Caza Lagarto, Loma Blanca, Las Palmas y Colorado	282
Tabla 71. Asociación de tags y variables para los controladores de El Ceibal, Cruz Verde, Intermedio y Azúa	283

Tabla 72. Descripción de tags y elementos de la pantalla Principal del sistema Caza Lagarto - El Colorado.....	296
Tabla 73. Descripción de tags y elementos de la pantalla Caza Lagarto del sistema Caza Lagarto - El Colorado.....	297
Tabla 74. Descripción de tags y elementos de la pantalla Río de Oro del sistema Caza Lagarto - El Colorado.....	299
Tabla 75. Descripción de tags y elementos de la pantalla Mocochoal del sistema Caza Lagarto - El Colorado.....	300
Tabla 76. Descripción de tags y elementos de pantalla Principal del sistema El Ceibal – Azúa	301
Tabla 77. Descripción de tags y elementos de pantalla El Ceibal del sistema El Ceibal – Azúa	302
Tabla 78. Descripción de tags y elementos de pantalla Cruz Verde del sistema El Ceibal – Azúa.	304
Tabla 79. Descripción de tags y elementos de la pantalla Intermedio del sistema El Ceibal – Azúa.....	304
Tabla 80. Formato de presentación de reportes, Alarmas Fugas, Caza Lagarto - El Colorado.....	307
Tabla 81. Formato de reportes para alarmas de nivel en tanques, Caza Lagarto - El Colorado.....	308
Tabla 82. Formato de reportes para alarmas de temperatura en bombas, Caza Lagarto - El Colorado.....	308
Tabla 83. Formato de reportes para datos de caudal en línea de conducción Caza Lagarto - El Colorado.....	308
Tabla 84. Formato de reportes para datos de presión en estaciones de bombeo, Caza Lagarto - El Colorado.....	308
Tabla 85. Formato de presentación de reportes, Alarmas Fugas, El Ceibal – Azúa.....	310
Tabla 86. Formato de reportes para alarmas de nivel en tanques, El Ceibal – Azúa.....	311
Tabla 87. Formato de reportes para alarmas de temperatura en bombas, El Ceibal – Azúa	311

Tabla 88. Formato de reportes para datos de caudal en línea de conducción El Ceibal – Azúa	311
Tabla 89. Formato de reportes para datos de presión en estaciones de bombeo, Caza Lagarto - El Colorado.....	311
Tabla 90. Configuración de driver Ethernet para la red de control Caza Lagarto - El Colorado	330
Tabla 91. Descripción y lista de tags consumidos y producidos para el sistema Caza Lagarto - El Colorado.....	330
Tabla 92. Configuración de driver Ethernet para la red de control El Ceibal – Azúa ...	332
Tabla 93. Descripción y lista de tags consumidos y producidos para el sistema El Ceibal - Azúa	332
Tabla 94. Ubicación y coordenadas geográficas para cada una de las estaciones de Caza Lagarto - EL Colorado	344
Tabla 95. Ubicación y coordenadas geográficas para cada una de las estaciones de El Ceibal – Azúa.....	351
Tabla 96. Direccionamiento IP de redes del sistema Caza Lagarto - El Colorado	360

RESUMEN

El sistema de conducción de aguas de la EPAM está compuesto por dos diferentes acueductos, el primero encargados de transportar agua potable desde la planta El Ceibal ubicado en el cantón Rocafuerte hasta la estación Azúa en el cantón Manta, mientras que el segundo lleva agua cruda desde la estación de bombeo Caza Lagarto ubicada en el cantón Santa Ana hasta la estación El Colorado ubicada en Manta. El diseño de la automatización implica las siguientes funcionalidades para el sistema, control de estaciones de bombeo tanto para arranque de bombas como para monitoreo y manipulación de variables como Temperatura, Presión, Caudal y Nivel de los tanques de almacenamiento, las estaciones de bombeo involucradas son El Ceibal perteneciente al primer acueducto y Caza Lagarto, Río de Oro las cuales pertenecen al segundo acueducto. Los elementos seleccionados para la operación de estaciones de bombeo son variadores de frecuencia, arrancadores suaves, sensores de caudal, presión, temperatura y nivel así como su respectivo controlador o PLC encargado de la adquisición de datos, procesamiento de la información y emisión acciones de control hacia los actuadores. Además del control de las estaciones el sistema cuenta con la posibilidad de detectar fugas a lo largo de la línea de conducción, mediante la incorporación de sensores de caudal en diferentes puntos como tanques de distribución que a su vez cuenta con un control de nivel, además de existir en otros puntos estratégicos que son interconexiones de la tubería para conocer la cantidad de agua existente a lo largo de la conducción y sus diferentes tramos, por último el sistema posee la capacidad de ser controlado y monitoreado a distancia mediante el manejo de una red de controladores y su respectivo software de monitoreo, generando así la información necesaria para la operación a largo plazo del sistema.

Palabras Claves: CONDUCCIÓN AGUAS, BOMBEO, AUTOMATIZACIÓN, ACUEDUCTO, ADQUISICIÓN DATOS.

ABSTRACT

The Water Conduction System of EPAM is composed by two different aqueducts, the first one responsible of transporting the treated water from El Ceibal station sited in Rocafuerte town to Azúa station sited in Manta City, while the second one transporting raw water from the pumping station Caza Lagarto sited in Santa Ana town to El Colorado station sited in Manta. The design of automation implies the following functionalities for the system, control of pumping stations for the pump starts as well as monitoring and manipulation of variables such as Temp, Pressure, Flow and storage Tank Level, the pumping station involved are El Ceibal belonging to the first aqueduct and Caza Lagarto & El Colorado belonging to the second one. The selected elements for the station operation are frequency drivers, soft starters, flow, pressure, temp and level sensors as well as the PLC controller responsibly of data acquisition, information processing and the control actions to actuators. Also the control stations the system has the capability of detect the outflow along the pipe, by means of incorporating sensors of flow located in different points of conduction line as distribution tanks which in turn has a level control, the sensors also exist in other strategic points which are interconnection of the pipe to know the water volume present in the pipe line and other points. Finally de system has the capability of be remotely controlled and monitored by means of controllers network and the monitoring software, thus generating the needed information for the operation of the system along the time.

Key Words: WATER CONDUCTION, PUMPING, AUTOMATION, AQUEDUCT, DATA ACQUISITION.

CAPITULO 1

PRELIMINARES

1.1. Antecedentes.

La Empresa Publica Aguas de Manta EPAM, es la encargada de suministrar agua potable al cantón Manta, para cumplir con este servicio se cuenta con un sistema de conducción de aguas comprendido por dos tramos de tuberías cada uno independiente del otro.

El primer tramo de conducción es el encargado de llevar el agua ya tratada en la planta de potabilización hacia Manta y que inicia en el cantón Rocafuerte, y luego de recorrer 31 Km, llega al tanque de distribución Azúa ubicado en la ciudad de Manta.

El segundo tramo de conducción inicia con la estación de bombeo Caza Lagarto ubicado en el Cantón Santa Ana y llega hasta la estación de tratamiento El Colorado recorriendo un total de 54 Km, en este tramo de conducción existe una estación de bombeo intermedia llamada Rio de Oro. El agua transportada por esta tubería es del tipo cruda o no tratada.

Primer tramo de conducción El Ceibal – Manta (Azúa): Inicia con la captación en el rio Portoviejo mediante dos bombas sumergibles marca FLYGT de 110 KW cada una,

esta agua es bombeada hasta la planta de potabilización El Ceibal, recorriendo un total de 1.5 Km por la tubería de captación con un diámetro de 400 mm.

Una vez el agua llega a la planta de tratamiento es tratada y almacenada en un tanque con capacidad para $5000 m^3$, el contenido de este tanque es impulsado por la estación de bombeo El Ceibal, que cuenta con cuatro conjuntos motor/bombas marca ABB y Worthington respectivamente con potencia de 700 KW y capacidad de bombeo de $1200 m^3/h$ en cada una de las bombas, en la Figura 0 se muestra las bombas y su operación. La estación trabaja con tres bombas y mantiene otra apagada en espera para ser usada en caso de emergencia.



Figura 1 Estación de bombeo Caza Lagarto

El agua bombeada desde esta estación es conducida por la tubería de impulsión que tiene 800 mm de diámetro y llega hasta la cima del cerro Cruz Verde en donde existe un

tanque con capacidad para $5000 m^3$, el ingreso y la salida del agua se muestra en la Figura 2. El agua en este punto es almacenada y desciende por gravedad hasta el siguiente punto de la conducción, el diámetro de la tubería en este tramo es de 800 mm. La distancia entre la estación El Ceibal y el Tanque Cruz Verde es de 3 Km.



Figura 2 Tanque Cruz Verde, capacidad $5000 m^3$

El agua que desciende mediante gravedad desde cruz verde hasta Tanque Intermedio es conducida por una tubería de 800 mm, recorriendo una distancia de 12.5 Km, el tramo de esta tubería va paralelamente a la vía Manta – Rocafuerte, la función de tanque intermedio es la misma que cumple el tanque Cruz Verde y su capacidad es de $5000 m^3$, el agua baja por gravedad y llega a la estación de distribución Azúa, recorriendo un total de 15.5 Km en una tubería de 800 mm. La Figura 3 muestra las conexiones para la carga y descarga del agua en este tanque.



Figura 3 Tanque Intermedio, capacidad 5000 m³

Por lo tanto la conducción del agua se puede interpretar de mejor manera en la Figura 4, destacando que toda la tubería tiene un diámetro de 800 mm, también se puede identificar las capacidades de los tanques y la ubicación de cada uno.



Figura 4 Acueducto El Ceibal – Azúa, longitud 31 Km

Fuente: (EPAM, 2012)

El segundo tramo de la conducción Caza Lagarto – El Colorado, tiene su inicio en la estación de bombeo Caza Lagarto, el agua que es impulsada desde este punto ingresa al ser represadas por compuertas y mantiene el nivel necesario para que las bombas funcionen.

Segundo tramo de conducción, Caza Lagarto – El Colorado: Inicia en la estación de bombeo Caza Lagarto, el agua que es impulsada ingresa por gravedad hacia las bombas debido a que se mantiene represado el río mediante compuertas hidráulicas, por lo tanto el agua mantiene un buen nivel y con una pendiente en el fondo de la repesa el agua llega hasta las bombas, ingresando por tres tuberías de 300 mm de diámetro y controlando el paso del agua mediante válvulas de compuerta, la estación cuenta con tres conjuntos motor/bombas de las siguientes características, motor marca US MOTORS, potencia de 600 HP o 441.3 KW, y bomba Flow Serve Pump Division, con capacidad para impulsar un caudal de 2377 GPM, la estación posee tres bombas de las cuales dos en funcionamiento y una como respaldo en casos de emergencia, la tubería de impulsión tiene un diámetro de 600 mm, la Figura 5 muestra la estación de bombeo Caza Lagarto.



Figura 5 Estación de bombeo Caza Lagarto.

El agua impulsada por esta estación de bombeo llega hasta la cima del cerro El Mocochoal, recorriendo una distancia de 2.8 Km aproximadamente, en donde se encuentra un tanque con capacidad de almacenamiento de 1000 m^3 usado para almacenar el agua y que descienda por gravedad hasta la siguiente estación de bombeo recorriendo un total de 36 Km hasta la estación de bombeo Rio de Oro este tramo de conducción comprende un acueducto de 500 mm que conduce el agua hasta Loma Blanca y recorre 23.5 Km, la conducción continua por una tubería de 600 mm hasta llegar a la estación Rio de Oro completando los 36 Km recorriendo 12.5 Km. El tanque del Cerro El Mocochoal y su carga y descarga se muestra en la Figura 6.



Figura 6 Tanque del cerro el Mocochoal, Carga y Descarga, capacidad 1000 m^3

El siguiente punto de la conducción es la estación de bombeo Rio de Oro, el agua llega desde el cerro Mocochoal llena un tanque con capacidad para 1000 m^3 , del cual las bombas toman el agua para impulsarlas hasta Cerro de Hojas, la tubería tanto de conducción e impulsión tiene un diámetro de 600 mm, en la Figura 7 se muestra el tanque de almacenamiento que pertenece a la estación de bombeo Rio de Oro.



Figura 7 Tanque de almacenamiento en Río de Oro. Capacidad 1000 m³

La estación de bombeo posee dos conjuntos bomba/motor y de igual manera que las otras estaciones se usa una bomba mientras otra está en espera para casos de emergencia, las características de estas bombas son motor US-MOTORS de 600 HP o 441.3 KW, de potencia y bomba marca Worthington con capacidad para bombear 2893 GPM. La función de la estación es impulsar el agua hasta el tanque rompe presión Cerro de Hojas recorriendo una distancia de 3.1 Km aproximadamente. El conjunto de bombas y su operación se muestra en la Figura 8.



Figura 8 Estación de bombeo Río de Oro

La conducción continua al pasar por el tanque rompe presión en Cerro de Hojas, y luego de recorrer una distancia de 14.9 Km desde este tanque hasta la planta de tratamiento El Colorado, se completa una distancia total de 54 Km en la conducción Caza Lagarto - El Colorado.

Es importante destacar que el tramo Cerro de Hojas – El Colorado tiene dos puntos de conexión el primero que desciende por gravedad desde Cerro de Hojas hasta la estancia Las Palmas recorriendo 1.7 Km por una tubería de 500 mm de diámetro, luego continua el tramo de Las Palmas hasta Fabrica Creart el cual tiene una longitud de 8.8 Km y diámetro de 450 mm. Finalizando el recorrido de la conducción con el tramo Fabrica Creart hasta la planta de tratamiento El Colorado. La Figura 9 muestra la conducción completa del acueducto Caza Lagarto – El Colorado.

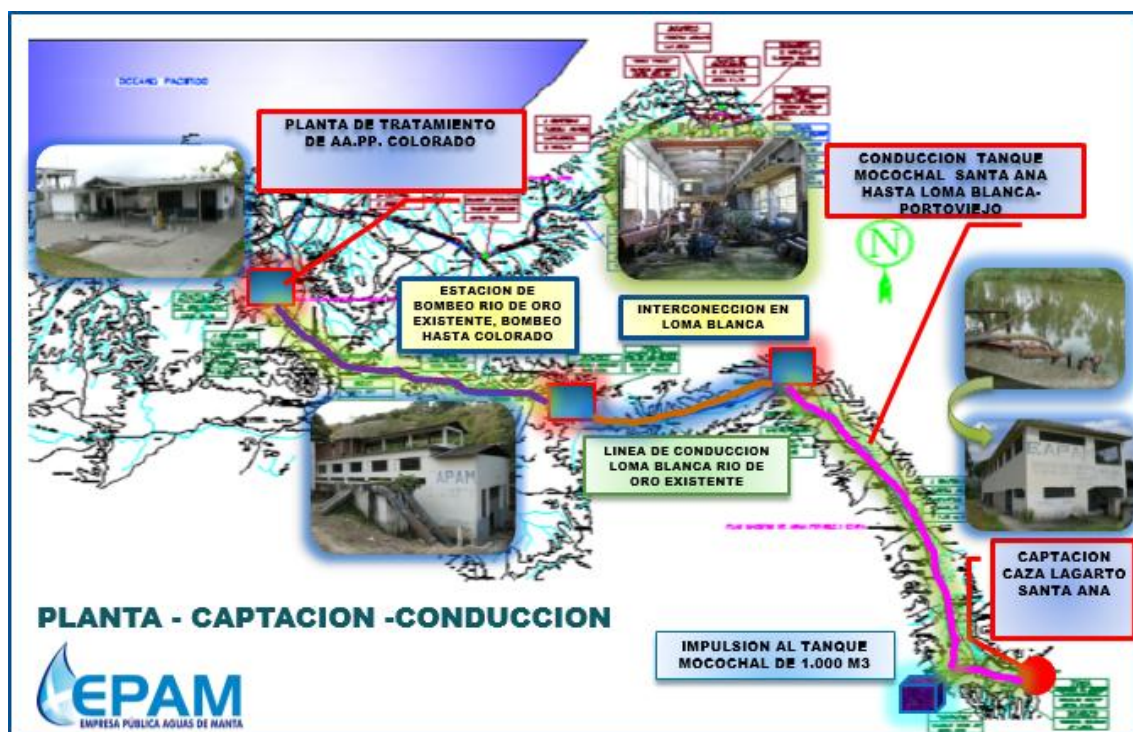


Figura 9 Acueducto Caza Lagarto - El Colorado

1.2. Justificación e Importancia.

En la actualidad los sistemas de automatización y supervisión en procesos de conducción de aguas se han vuelto necesarios y altamente requeridos debido a que permiten mejorar el rendimiento del sistema y la calidad del servicio que brindan las empresas que administran este recurso.

Por lo tanto la Empresa Pública Aguas de Manta al carecer de un sistema de automatización y monitoreo en la conducción de aguas, se encuentra con problemas referentes a pérdida de agua debido a fugas y consecuentemente esto provoca que el servicio sea interrumpido para corregir fallas en tuberías, unidades de bombeo, almacenamiento y distribución.

Entonces la EPAM, toma como requerimiento desarrollar un proyecto en el cual se determine cuál es la viabilidad de automatizar el sistema de conducción de aguas, diseñando y estableciendo cada uno de los subsistemas involucrados en un sistema de automatización.

El proyecto será realizado para corregir cada uno de los errores presentes en el actual sistema de conducción como son la falta de capacidad para determinar fugas en las tuberías y diversos errores en la conducción, almacenamiento y bombeo de agua. Existen diversos problemas en las estaciones por que no se cuenta con monitoreo de las diferentes variables involucradas en el proceso de la conducción, por lo tanto es importante que los operadores tengan conocimientos de las siguientes magnitudes físicas como caudal, presión, nivel y temperatura de las bombas.

1.3. Alcance

Con este proyecto se busca realizar la ingeniería conceptual, básica y de detalle con el objetivo de conseguir la automatización del sistema de conducción de aguas de la

Empresa Pública Aguas de Manta “EPAM”, lo cual involucra los acueductos Casa Lagarto - El Colorado y El Ceibal – Manta.

Este proyecto busca desarrollar un sistema automático que permita controlar, monitorear y detener de manera emergente el bombeo de agua en todas las estaciones de bombeo siempre y cuando sea el caso de que exista una rotura o fisura en cualquier parte del tramo de la tubería, así como poner en funcionamiento el sistema de manera local o remota, siempre que se haya corregido la falla en la tubería. Es decir el sistema será capaz de detectar cualquier problema en la conducción de agua, tanto como fugas en la tubería como problemas en el accionamiento y arranque de bombas. Paralelamente se deberá monitorear y controlar el nivel de cada uno de los tanques de succión y descarga para asegurar que la distribución de agua se la realice de manera eficiente y sin interrupción en el servicio.

Para el desarrollo de este proyecto se establece cuatro grandes subsistemas que permitan dividir y establecer cada uno de los requerimientos necesarios en el sistema de automatización. Estos sistemas son, Instrumentación, Control, Comunicación y Supervisión.

Subsistema de instrumentación: Para el desarrollo de la ingeniería conceptual, básica y de detalle en este sistema es necesario establecer cuáles son los requerimientos y funciones que serán realizadas por este sistema. Este sistema será capaz de evaluar el estado de las siguientes variables: Temperatura de la bomba, corriente y voltaje de operación del motor, tiempo transcurrido de trabajo de la bomba, caudal y presión de bombeo, nivel de tanques de succión y descarga. Por lo tanto se deberá determinar cuáles son los sensores y tecnologías a usarse dentro de este sistema. Se desarrollará planos y esquemas necesarios para el montaje de este sistema, como planos P&ID y diagramas eléctricos unifilares. Se determinará qué y cuáles son los parámetros y configuraciones necesarias para cada uno de estos elementos.

Subsistema de control: Para este sistema se deberá diseñar y desarrollar la lógica de control y software de operación que permitan realizar cada una de las tareas que conlleva la automatización del sistema de conducción de aguas. Se deberá establecer cuáles serán los requerimientos y funciones necesarias para controlar cada uno de los procesos del sistema y de igual manera seleccionar cada uno de los equipos y elementos de control que serán usados. Para este sistema es de gran importancia desarrollar cada uno de los diagramas unifilares eléctricos que permitan el montaje y operación tanto de bombas, controladores y diferentes actuadores requeridos.

Subsistema de comunicación: Para la red de interconexión y transporte de datos e información del sistema se analizará la posibilidad de usar una combinación de tecnologías inalámbricas mediante radio comunicación y otra tecnología cableada como fibra óptica sobre una plataforma de Ethernet IP, Esta red transportará los datos referentes al control entre las diferentes estaciones y variables necesarias para la operación del sistema de automatización. Se estudiará el uso de una red de respaldo con diferentes tecnologías con el objetivo de aumentar la disponibilidad y confiabilidad de la red. Es necesario realizar esquemas de montaje y conexión para este sistema.

Sistema de Monitoreo y Supervisión: Todas las variables y procesos involucrados dentro del sistema acueducto deberán ser monitoreados y controlados (accionados) desde una central de control ubicada en la ciudad de Manta, el control a aplicar debe ser automático, continuo e ininterrumpido. Cada una de las estaciones de bombeo deberán contar con su propio controlador que permita encargarse de la operación de cada estación y a su vez comunicarse con las demás unidades de bombeo con el objetivo de integrar todo el proceso con la central de control. Es de gran importancia diseñar el software de operación y control para el sistema de monitoreo, es decir establecer que variables y procesos serán controlados y como lo serán.

Se diseñará las pantallas y requerimientos para una Interfaz Humano – Máquina, la cual permitirá manejar el sistema por un operador desde la central de control. Esta interfaz deberá contar con la seguridad necesaria así como la confiabilidad que se debe tener para comandar un sistema de esta importancia. El sistema de supervisión deberá tener la

capacidad de generar reportes y alarmas referentes a fallas eléctricas, fugas, nivel excesivo o insuficiente, fallas de presión y caudal, comunicación, etc. Los errores o fallas deberán ser registrados en una base de datos o registro histórico.

1.4. Objetivos

1.4.1. General.

Optimizar la operación y supervisión del sistema de conducción de aguas de la EPAM, a través del diseño de la automatización de los acueductos Casa Lagarto – El Colorado y El Ceibal – Manta.

1.4.2. Específicos.

- Realizar la recopilación y levantamiento de información de los elementos y partes existentes en el acueducto Casa Lagarto – El Colorado y El Ceibal – Manta.
- Desarrollar las ingenierías conceptual, básica y de detalle para el subsistema de instrumentación de los acueductos Casa Lagarto – EL Colorado y El Ceibal - Manta.
- Desarrollar las ingenierías conceptual, básica y de detalle para el subsistema de control de los acueductos Casa Lagarto – EL Colorado y El Ceibal - Manta.
- Desarrollar las ingenierías conceptual, básica y de detalle para el subsistema de comunicación de los acueductos Casa Lagarto – EL Colorado y El Ceibal - Manta.
- Desarrollar las ingenierías conceptual, básica y de detalle para el subsistema de supervisión de los acueductos Casa Lagarto – EL Colorado y El Ceibal - Manta.

- Simulación de las interfaces y lógica de control desarrollada durante el proyecto.
- Efectuar pruebas y presentar resultados de lo desarrollado durante el proyecto.
- Documentar apropiadamente el proyecto desarrollado.

1.5. Descripción general del proyecto.

Este proyecto se basa en el diseño de un sistema de automatización para los acueductos Caza Lagarto – El Colorado y El Ceibal – Azúa, los cuales son parte del sistema de conducción de aguas de la EPAM. Los puntos a automatizar y controlar son: El proceso de arranque y control de bombeo para cada estación, control y detección de fugas a lo largo de la tubería de conducción, monitoreo de todo el proceso de conducción para diferentes puntos como tanques, interconexiones y estaciones de bombeo. El sistema estará compuesto por cuatro grandes grupos que trabajaran de manera integrada encargándose de la parte de instrumentación, control, comunicación y monitoreo.

El sistema de instrumentación será el encargado de adquirir los datos de las variables físicas existentes en el proceso de conducción de aguas, como son caudal existentes en tuberías de impulsión o conducción, temperatura en bombas, nivel en tanques de almacenamiento o distribución y presión en las unidades de bombeo.

El sistema de control será el encargado de interpretar todas las señales provenientes del sistema de instrumentación, ejecutar acciones de control para los procesos, comandar el sistema de monitoreo con el objetivo de manejar e interpretar el sistema desde una interfaz, en fin será el encargado de automatizar todos los procesos trabajando conjuntamente con todos los sistemas.

El sistema de comunicación estará encargado de comunicar a todos los controladores de cada proceso mediante una red de comunicación sobre una plataforma de comunicación del tipo industrial, de manera que los datos puedan ser transmitidos sin errores o inconvenientes que dificulten la integración de todo el sistema y la operación del mismo.

El sistema de monitoreo trabajara sobre un software de HMI SCADA facilitando la interrelación y presentación de los demás sistemas, encargado de ayudar a los operadores a visualizar cada punto y proceso a lo largo de la línea de conducción desde uno o varios puntos centrales mediante una interfaz gráfica orientada a operar todo el sistema de automatización.

La Figura 10 muestra el diagrama de bloques del sistema destacando cada subsistema, los diferentes procesos y variable así como la interrelación entre ellos.

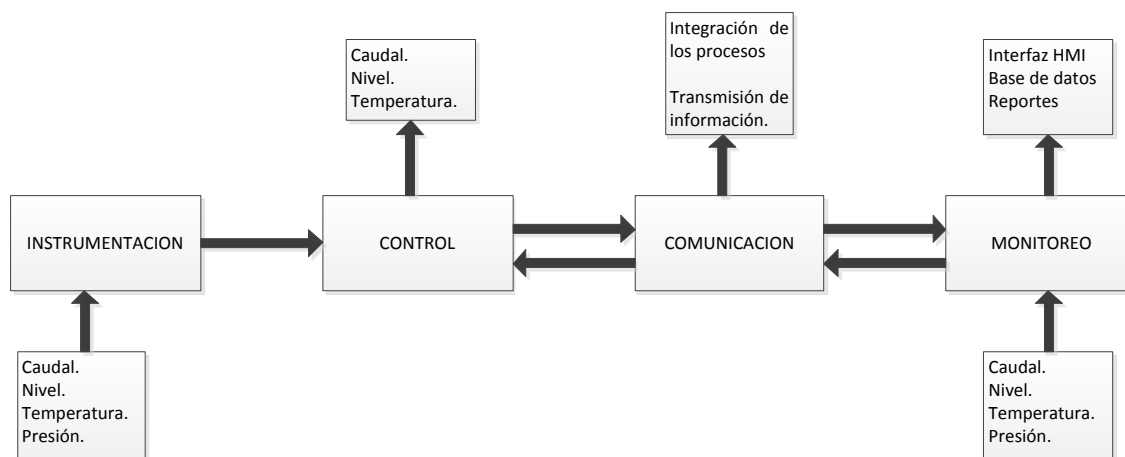


Figura 10 Diagrama de bloques del sistema de automatización y sus interrelaciones.

1.5.1. Equipos y elementos actualmente existentes.

Existe una variedad de equipos, motores, sensores e instrumentos instalados y existentes en las líneas de conducción, específicamente en las estaciones de bombeo, por

lo tanto se detallara cada uno de los elementos según la estación a que pertenecen destacando sus características principales.

- **Estación de bombeo Caza Lagarto:**

- Tres motores trifásicos US MOTORS 5811 FRAME TITAN, potencia 600 HP a 2300 V y 1790 rpm.
- Tres bombas Flow Serve, Pump Division, PVML – Mag 685, TDH altura máxima 235 m y caudal de 2377 GPM o 160 LPS.
- Sensor de caudal SPARLING FM656, modelo de medidor de caudal electromagnético, con capacidad para medir 0 – 1200 LPS en una tubería de 400 mm de diámetro. Este sensor posee diferentes tipos de respuesta que serán analizadas en capítulos posteriores.
- Manómetro indicador de presión, con rango de 0 – 600 PSI.
- Tres arrancadores suaves ABB SOFT STARTER SSM 2300 V / 600 HP, usados para el arranque de cada motor presente en la estación, las características de este equipo se detallaran en capítulos posteriores.

- **Estación de bombeo Río de Oro**

- Dos motores trifásicos US MOTORS TITAN LINE, 600 HP a 440 V y 1775 rpm.
- Dos bombas Worthington, TDH o altura máxima de 150 m y caudal de 2893 GPM o 192 LPS.
- Dos Variadores de frecuencia Schneider Altivar 61 para 600 HP y baja tensión usados para arrancar y controlar los motores presentes en la estación, las características de este equipo serán analizadas en capítulos posteriores.

- **Estación de bombeo El Ceibal:**

- Cuatro motores ABB AC MACHINE 77430, 940 HP a 6800 V y 1786 rpm.

- ii. Cuatro bombas Worthington, TDH o altura máxima de 150 m y caudal de 2893 GPM o 192 LPS.
- iii. Sensor de caudal Siemens SONO 3100, modelo de medidor ultrasónico, rango de medida de 0 – 5000 m³/h – 1390 LPS en una tubería de 800 mm de diámetro, el sensor posee varios tipos de respuesta y diferentes características que serán analizadas en capítulos posteriores.

1.5.2. Requerimientos técnicos del sistema.

El diseño de la automatización para el sistema de conducción de aguas debe contar con los siguientes requerimientos para cada uno de los acueductos a ser intervenidos. Al ser cada acueducto de diferentes características tanto como de operación y bombeo se debe establecer los parámetros de manera individual y dependiente de sus propias instalaciones. Para el sistema de conducción El Ceibal – Azúa. Se deberá establecer los requerimientos de técnicos de control a los siguientes puntos de la conducción.

Planta de tratamiento El Ceibal, el agua que llega desde la captación del río Portoviejo es tratada y potabilizada para una vez que esté lista para el consumo humano, sea almacenada en el tanque de la estación, el cual tiene una capacidad de 5000 m³ con una altura de cinco metros teniendo en cuenta constantemente que los niveles críticos del tanque son a una $H_{min} = 0.6$ m y una $H_{max} = 4.6$ m, las acciones de control que se deben realizar al tener estos niveles son, en caso de mínima altura se deberán apagar las bombas de manera automática, y en caso de altura máxima se deberá cerrar las válvulas que permiten el paso del agua que viene desde la captación. Es importante que el nivel pueda ser monitoreado en la interfaz de monitoreo, y que además existan alarmas sonoras y lumínicas que permitan a los operadores manejar las diferentes acciones de control. Se deberá controlar las bombas de manera automática diseñando y estableciendo un arranque óptimo para cada uno de los grupos de bombeo, registrar, monitorear y controlar diferentes variables como temperatura de las bombas, caudal impulsado, y presión existente en el bombeo para esta última solo será monitoreo. Por lo tanto es importante contar con un interfaz HMI que permita manejar cada una de estas variables y supervisar puntos críticos

en el bombeo, con el objetivo de evitar fallos e inconvenientes el sistema de conducción ayudando al operador a realizar las tareas que actualmente carecen de automatización.

Los siguientes puntos de la conducción son los tanques ubicados en el Cerro Cruz Verde y Cerro Intermedio, estos tanques poseen una capacidad de 5000 m³ y una altura de cinco metros entonces se deberá monitorear esta variable de la misma manera que en el tanque de la estación El Ceibal, con la diferencia que las acciones de control serán manejadas con las propias válvulas de los tanques y las bombas de la estación de impulsión El Ceibal. Se debe controlar los fallos existentes en la tubería como fugas, por lo tanto los puntos de monitoreo para las fugas en la tubería deben ser tanto en la salida de la estación de impulsión, ingreso y salida de los tanques de almacenamiento Cruz Verde, Intermedio y a la llegada para la estación de distribución Azúa. Se deberá realizar acciones de control a diferentes elementos como válvulas y motores, manteniendo el servicio ininterrumpido y capaz de reportar las fallas en la conducción. Los puntos de conducción deben estar comunicados entre sí permitiendo que en la estación se monitoree y controle la totalidad del acueducto, evaluando las principales características de la tubería.

Mientras que para el acueducto Caza Lagarto – El Colorado al ser una conducción de mayor longitud se debe controlar y monitorear dos estaciones de bombeo, dos tanques de almacenamiento, diferentes conexiones de y acoplamientos en la tubería, ya que a lo largo de la conexión existe tuberías de diferentes diámetros. Los tanques de almacenamiento tienen una altura de cinco metros y los niveles críticos son los mismos para estos tanques como para los del anterior acueducto, el arranque de las bombas es diferente y se debe diseñar el sistema más óptimo que permita evaluar y controlar variables como caudal, presión y temperatura en las bombas. Se deberá proponer y diseñar el sistema de control que permita detectar y prevenir fugas en la conducción de la tubería, para esto se monitorea el caudal impulsado y conducido.

Los puntos a intervenir dentro de la conducción serán estación de bombeo Caza Lagarto, Tanque de Almacenamiento Cerro Mocochoal, Estación de Bombeo Rio de Oro, Conexión Loma Blanca, Estación de potabilización El Colorado. Al integrar todos los

puntos de la conducción y mantener una comunicación y flujo de información continuo se podrá evitar fugas, mejorar el rendimiento de la conducción y mejorar el servicio de agua potable. Todos los procesos y variables deben ser monitoreados y controlados de diferentes maneras desde un interfaz HMI. Permitiendo a los operadores manejar el sistema de manera Local o Remota, Manual o Automática, ayudando a corregir cualquier tipo de error que pueda existir en la conducción.

CAPITULO 2

MARCO TEÓRICO

2.1. Sistemas de conducción de aguas.

Estos sistemas son usados para llevar o transportar el agua potable o agua cruda desde la captación en ríos y represas o plantas de tratamiento hasta la red de distribución para los usuarios. La conducción de agua comprende algunos puntos importantes que interactúan entre sí para asegurar un servicio adecuado a los usuarios, de los cuales existen los siguientes, transporte en tuberías o acueductos, unidades o estaciones de bombeo, depósitos de almacenamiento y distribución. Además de existir diversos accesorios o elementos que componen la obra como válvulas, tanques rompe presión o tanques para golpe de ariete.

2.1.1. Tuberías de conducción.

Para la conducción de grandes volúmenes de agua tratada o a tratar, se utiliza acueductos cerrados. Pueden usarse tuberías o cañerías para conducir grandes caudales de agua, los materiales más usados para su construcción son: Hormigón armado, fundición de hierro, acero, fibrocemento y plástico, (Orellana, 2005).

Las tuberías de conducción a menudo son usadas para transportar agua desde un tanque elevado de almacenamiento a uno o más tanques ya sea de almacenamiento o distribución, las tuberías de conducción generalmente tienen la función de llevar el agua desde uno de los tanques mencionados hacia otra estación de bombeo. La principal manera de impulsión es la gravedad y esta tubería tiene una gran longitud usualmente cumple un recorrido de varios kilómetros, por lo que se debe seguir en general, el perfil del terreno y se colocan de la manera más favorable en cuanto al costo de construcción y presión resultante.

Definido el perfil de la tubería, se instala prestándose particular atención a la línea de gradiente hidráulico. Cuando más se adapte el perfil a este gradiente hidráulico, menor será la presión en la tubería, lo que da como resultado un menor costo de la misma. Las grandes presiones pueden evitarse, a veces, rompiéndola continuidad de la tuberías con aliviadores o depósitos auxiliares.

Los primeros evitarán también la fuerte presión estática que se produce al cerrar el extremo inferior de la tubería para reparaciones. Las velocidades deben ser lo bastante altas para evitar depósitos de sedimentos en la tubería, 0,60 a 0,75 m/s, es una velocidad satisfactoria, pero debe siempre ser verificada con las condiciones propias del agua a transportar.

En los puntos bajos de la tubería se colocan derivaciones de purga con válvulas para desaguar y limpiar los sedimentos acumulados. Debe evitarse que los puntos altos de la tubería queden por encima del gradiente hidráulico, puesto que en ellos se produce sifonamiento. En general todos los puntos altos de las tuberías largas acumulan el aire disuelto en el agua. Las válvulas de aire y vacío y las purgas de aire se colocan en estos puntos para evitar este efecto.

2.1.2. Tuberías de Descarga.

Estas tuberías tienen una longitud muy corta debido a que su tramo va desde el final de la tubería de conducción hasta el ingreso de los diferentes tanques o estaciones de bombeo, el ingreso a esta tubería siempre está controlado mediante válvulas, las cuales permiten o no el paso del agua. Las principales funciones de esta tubería son, llenar tanques de almacenamiento o distribución, desfogar diferentes tanques o unidades de bombeo para que los operadores puedan realizar mantenimiento o corregir diferentes fallas en la conducción. El material de construcción de estas tuberías son los mismos usados que en las tuberías de conducción y generalmente van descubiertas, es decir no están enterradas o tapadas, mientras que el diámetro es usualmente el mismo que el de las tuberías de conducción.

2.1.3. Tuberías de Impulsión.

La principal función de este tipo de tuberías es de transportar el agua que es bombeada o impulsada desde la estación hasta los tanques de almacenamiento los cuales se encuentran varios metros por encima de las estaciones de bombeo, usualmente el recorrido de estas tuberías es relativamente corto ya que el agua es transportada por un par de kilómetros. El diámetro de esta tubería es menor que el de la tubería de conducción, debido a que el agua es impulsada por las bombas y la presión en este punto es alta, por lo cual además de ser controlada con diversas válvulas presentes al inicio de esta tubería, se dispone de un diámetro menor. Es importante contar con diferentes elementos de protección como tanques que mitiguen el golpe de ariete.

2.1.4. Tanques de succión y descarga.

El uso de estos tanques es muy importante a lo largo de la conducción de aguas ya que cumplen diversas funciones, primeramente los tanques de succión o alimentadores

son aquellos presentes en las instalaciones de las estaciones de bombeo ya que de estos se obtiene el agua para ser bombeada o impulsada, es muy importante mantener monitoreado y controlado el nivel ya que de esta variable depende el funcionamiento de las bombas, es decir si el nivel es insuficiente la bomba deberá apagarse o no prenderse. Los tanques de succión usualmente son el inicio de la conducción por lo tanto se debe tener un cuidado especial y constante limpieza para que el resto de la conducción no transporte elementos corrosivos o dañinos para tuberías o bombas. La capacidad de estos tanque está en el orden de los miles de metros cúbicos, por ejemplo los tanque presentes en estos acueductos son de 5000 m³.

Tanques de descarga, distribución o almacenamiento, estos tanques se encuentran ubicados al final de la línea o tubería de impulsión ya que estos almacenan el agua bombeada y transportan el agua al resto de la conducción mediante gravedad, otra de las principales funciones de estos tanques es que al estar en punto alto de la conducción y de la gradiente hidráulica ayudan a mantener un presión mínima constante en la red. Como se indicó estos tanques poseen dos cañerías, una de ingreso llamada impulsión y otra de salida llamada distribución.

2.1.5. Estaciones de bombeo.

Parte fundamental dentro de un sistema de conducción de aguas, debido a que es el inicio de este sistema, es decir es el encargado de impulsar o enviar el líquido a través de todas las tuberías, el principal elemento de la estación son las bombas, las cuales trabajan aportando energía al sistema y son accionados por un motor lo suficientemente potente para asegurar el trabajo requerido, por lo tanto este elemento es usado para elevar un fluido desde un nivel determinado a otro más alto, o bien convertir la energía mecánica en hidráulica. En la ilustración 2 se presenta esquemáticamente el caso más general de un suministro por bombeo de M a N. B representa una bomba. En M el líquido está confinado y sometido a una presión p_0 . El tramo 0-1 (M-B), se denomina succión o aspiración. El tramo 2-3 (B-N) se denomina de impulsión. Las alturas correspondientes se llaman de

succión y de impulsión. En la Figura 11 el líquido descarta por medio de una boquilla en un recipiente N, que está a presión. (Felices, 2012).

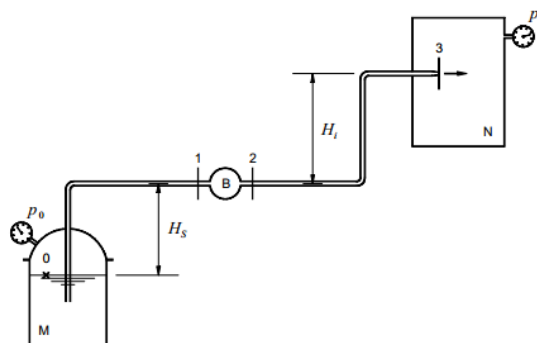


Figura 11 Esquema genérico de un suministro de bombeo

Fuente: (Felices, 2012).

2.1.5.1. Clasificación de las bombas.

- **Bombas de desplazamiento no positivo, hidrodinámicas (Roca, 1998).**

En estas bombas, generalmente empleadas para traslado de fluidos, la energía cedida al fluido es cinética, y funciona generalmente mediante una fuerza de rotación, por la cual el fluido entra en la bomba por el eje de la misma y es expulsado hacia el exterior por medio de un elemento (paletas, lóbulos, turbina) que gira a gran velocidad.

Una bomba hidrodinámica no dispone de sistemas de estanqueidad entre los orificios de entrada y salida, por ello produce un caudal que variará en función de la contrapresión que encuentre el fluido a su salida. Si se bloquea totalmente el orificio de salida de una bomba de desplazamiento no positivo aumentará la presión y disminuirá el caudal hasta cero, a pesar de que el elemento impulsor siga moviéndose; esto se debe a que el rotor y

la carcasa de la bomba generan una conexión entre la cámara de succión y descarga de la bomba.

Dentro de las bombas hidrodinámicas existen las bombas centrifugas, las son un dispositivo constituido por un conjunto de paletas rotatorias perfectamente encajadas dentro de una cubierta metálica (voluta), de manera que son capaces de impulsar al líquido que esté contenido dentro de la cubierta, gracias a la fuerza centrífuga que se genera cuando giran las paletas del rodete, la Figura 12 muestra las principales partes de este tipo de bomba.

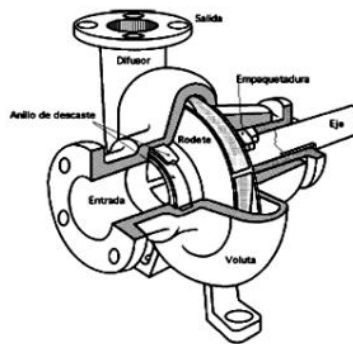


Figura 12 Partes de una bomba centrífuga

Fuente: (Roca, 1998).

- **Bombas de desplazamiento positivo, hidrostática (Roca, 1998).**

Las bombas hidrostáticas o de desplazamiento positivo son elementos destinados a transformar la energía mecánica en hidráulica. Cuando una bomba hidráulica trabaja, realiza dos funciones: primero su acción mecánica crea un vacío en la línea de aspiración que permite a la presión atmosférica forzar al líquido del depósito hacia el interior de la bomba; en segundo lugar su acción mecánica hace que este líquido vaya hacia el orificio de salida, forzándolo a introducirse en el sistema oleo hidráulico.

Una bomba produce movimiento de líquido o caudal pero no genera la presión, que está en función de la resistencia al paso del fluido que se genera en el circuito. Así, por ejemplo, la presión a la salida de una bomba es cero cuando no está conectada al sistema

(no está en carga), pero si la misma bomba se conecta a un circuito (carga), o simplemente se le tapona el orificio de salida, la presión aumentará hasta vencer la resistencia de la carga.

2.1.5.2. Conexiones de bombas.

Un conjunto de bombas pueden ser conectadas en serie o en paralelo según se lo necesito ya sea para aumentar la altura alcanzada o incrementar el caudal impulsado.

- **Conexiones de bomba en serie.**

Las bombas van conectadas en secuencia de tal manera que la primera bomba realice la succión de una fuente de agua, mientras que la siguiente bomba tiene su entrada conectada a la salida de la anterior, esto se lo realiza si se desea tener un aumento proporcional o final de la presión del sistema. El caudal total es el mismo que el de cada bomba, mientras que la altura alcanzada será la suma de la altura alcanzada por cada bomba. Se puede interpretar este tipo de conexión revisando la Figura 13.

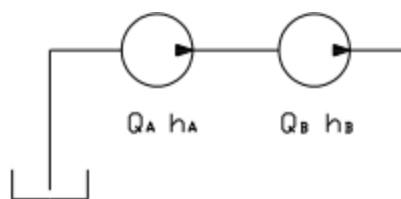


Figura 13 Conexiones de bombas en serie

- **Conexiones de bombas en paralelo.**

Un conjunto de bombas tiene su succión de la misma fuente de agua, y por lo tanto la salida de todas va a una única tubería o salida común, Con esta conexión se logra un

aumento de caudal pero una presión sin aumento. El caudal resultante es la suma del caudal de cada bomba, mientras que la presión es la misma que cualquiera de las bombas. La Figura 14 muestra la manera de conexión de las bombas.

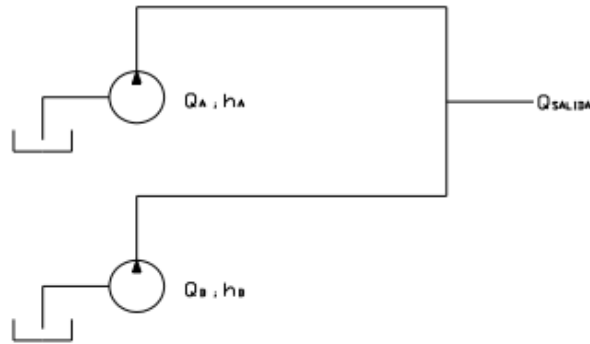


Figura 14 Conexiones de bombas en paralelo

2.1.6. Válvulas.

Es un dispositivo mecánico con el cual se puede iniciar, detener o regular la circulación o paso de fluidos mediante una pieza movable que abre, cierra u obstruye en forma parcial uno o más orificios o conductos. A continuación se detallan las principales válvulas existentes y más comúnmente usadas en un sistema de conducción de aguas.

- **Válvulas de accionamiento frecuente y alta presión (Orellana, 2005).**

Las válvulas de accionamiento frecuente y también las de gran diámetro pueden ser de operación hidráulica o eléctrica. Las válvulas de gran tamaño están sujetas a grandes presiones cuando están cerradas por lo que su apertura por medios manuales puede ser dificultosa. En tales casos se instala un sistema de reducción mecánica y una pequeña válvula de bypass para equilibrar las presiones a ambos lados del disco. Ambos dispositivos son muy útiles, tanto para facilitar la apertura, como para la reducción del

golpe de ariete al cerrar las válvulas. En la Figura 15 se observa un esquema de lo dicho precedentemente.

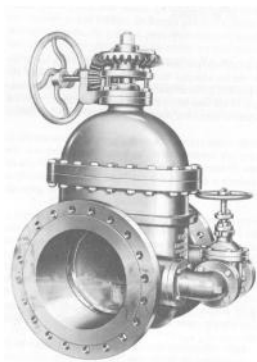


Figura 15: Válvulas de alta presión y gran diámetro

Fuente: (Orellana, 2005)

- **Válvulas Check o de retención (Orellana, 2005).**

Las válvulas de retención permiten que el agua circule en una sola dirección y, generalmente, se emplean para evitar el retroceso del agua al pararse las bombas, o interrumpirse el flujo en las cañerías. Las válvulas de retención que se instalan en el extremo inferior de la cañería de aspiración, se denominan válvulas de pié y sirven para evitar el vaciamiento del conducto al detenerse el bombeo. Asimismo, se instalan válvulas de retención en el conducto de impulsión a la salida de la bomba para reducir el efecto del golpe de ariete sobre ellas. En la Figura 16, se muestra un ejemplo de válvula de retención, pero cuando estas son importantes en cuanto a diámetro, debe diseñarse para que su cierre se realice lentamente, para lo cual suelen incorporar un bypass para la descarga de agua.

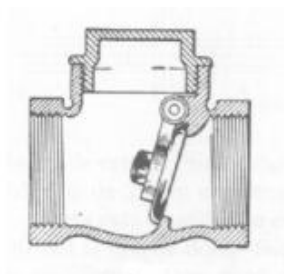


Figura 16 Válvulas Check o de retención

Fuente: (Orellana, 2005)

- **Válvulas cónicas, esféricas o de bola (Orellana, 2005).**

Estas válvulas, tienen un macho o bola que gira en un asiento perfectamente adaptado. Cuando la válvula se abre, un agujero del macho o de la bola coincide con las aberturas del cuerpo, y estas a su vez, son prolongaciones de la tubería en la que se coloca la válvula. La lubricación se realiza con aceite a presión, si el material es metálico, en cambio si se hacen con materiales sintéticos, tales como neopreno, son de auto lubricación. Este tipo de válvula cuyo modelo de macho se ve en la Figura 17, se adapta no solo a las conducciones de agua a presión, sino también a las de residuales, aceites, líquidos abrasivos y gases. También pueden obtenerse con aberturas múltiples.

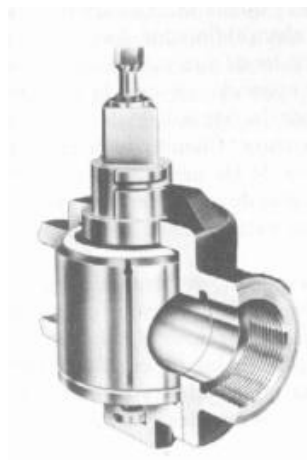


Figura 17 Válvulas cónicas, esféricas o de bola

Fuente: (Orellana, 2005)

- **Válvulas de desagote y limpieza (Orellana, 2005).**

Las válvulas de desagote y limpieza o mejor dicho las cámaras de desagote y limpieza, se disponen en los puntos bajo, distanciadas unas de otras en no más de 3.000 metros, con el fin de permitir el desagote de la tubería en cada sector, en caso de tener que vaciar algún tramo, ya sea por razones de limpieza, operativas o por alguna rotura sufrida en algún sector. La Figura 18 muestra un esquema de dichas cámaras.

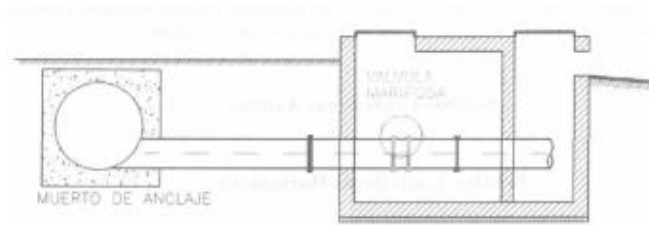


Figura 18: Válvula de desagote y limpieza

Fuente: (Orellana, 2005)

- **Válvula de mariposa (Orellana, 2005).**

Son muy empleadas en las redes de distribución donde la presión no supere los 9 PSI. Presentan numerosas ventajas sobre las válvulas esclusa en las tuberías de gran tamaño, incluyendo su menor costo, menor desgaste por fricción y facilidades de operación. En la Figura 19, se observa un modelo que puede ser accionada mediante motorización o manualmente.

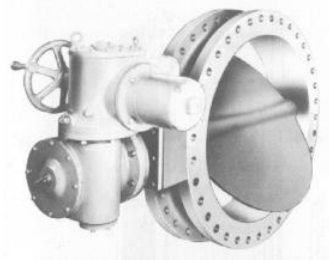


Figura 19: Válvula de Mariposa

Fuente: (Orellana, 2005)

2.2. Sistemas de instrumentación.

Grupo de elementos usados para medir las magnitudes físicas existentes en diferentes procesos industriales, convertir las magnitudes a señales eléctricas y transmitir las hacia controladores o interfaces que permitan interpretar estos valores, dentro de este proyecto el sistema de instrumentación será encargado de medir las siguientes magnitudes físicas caudal, presión, nivel y temperatura.

2.2.1. Sensores de presión.

La presión es una fuerza por unidad de superficie y puede expresarse en unidades tales como pascal, bar, atmósferas, kilogramos por centímetro cuadrado y psi (libras por pulgada cuadrada). En el Sistema Internacional (S.I.) está normalizada en pascal. La presión puede medirse en valores absolutos o diferenciales.

La presión absoluta se mide con relación al cero absoluto de presión, es decir sin contar con la presión atmosférica. La presión relativa es la determinada por un elemento que mide la diferencia entre la presión absoluta y la atmosférica del lugar donde se efectúa la medición, considerando que al aumentar o disminuir la presión atmosférica disminuye o aumenta respectivamente la presión leída.

La presión diferencial es la diferencia entre dos presiones de dos puntos diferentes. El vacío es la diferencia de presiones entre la presión atmosférica existente y la presión absoluta, es decir, es la presión medida por debajo de la atmosférica. (Creus, 1997).

2.2.1.1. Elementos mecánicos.

Se dividen en Elementos Primarios de Medida Directa que miden la presión comparándola con la ejercida por un líquido de densidad y altura conocidas (barómetro cubeta, manómetro de tubo en U, manómetro de tubo inclinado, manómetro de toro pendular, manómetro de campana), y Elementos Primarios Elásticos que se deforman por la presión interna del fluido que contienen.

Los elementos primarios elásticos más empleados son: el tubo Bourdon, el elemento en espiral, el helicoidal, el diafragma y el fuelle. El material empleado normalmente en el tubo Bourdon es de acero inoxidable, aleación de cobre o aleaciones especiales.

El elemento en espiral se forma arrollando el tubo Bourdon en forma de espiral alrededor de un eje común, y el helicoidal arrollando más de una espira en forma de hélice. Estos elementos proporcionan un desplazamiento grande del extremo libre y por ello, son ideales para los registradores.

El diafragma consiste en una o varias cápsulas circulares conectadas rígidamente entre sí por soldadura, de forma que al aplicar presión, cada cápsula se deforma y la suma de los pequeños desplazamientos son amplificadas por un juego de palancas. El sistema se proyecta de tal modo que, al aplicar presión, el movimiento se aproxima a una relación lineal en un intervalo de medida lo más amplio posible con un mínimo de histéresis y de desviación permanente en el valor cero del instrumento. El material del diafragma es normalmente aleación de níquel o inconel x. Se utiliza para pequeñas presiones. El fuelle es parecido al diafragma compuesto, pero de una sola pieza flexible axialmente, y puede dilatarse o contraerse con un desplazamiento considerable. **(Creus, 1997).**

2.2.1.2. Elementos electromecánicos.

Los elementos electromecánicos de presión utilizan un elemento mecánico elástico combinado con un transductor eléctrico que genera la señal eléctrica correspondiente. El elemento mecánico consiste en un tubo Bourdon, espiral, hélice, diafragma, fuelle o una combinación de los mismos que, a través de un sistema de palancas convierte la presión en una fuerza o en un desplazamiento mecánico. Los elementos electromecánicos de presión se clasifican según el principio de funcionamiento en los siguientes tipos. Resistivos, Capacitivos, Magnéticos, Extensométricos y Piezoeléctricos. **(Creus, 1997).**

- **Transductores Resistivos:**

Constituyen, sin duda, uno de los transmisores eléctricos más sencillos. Consisten en un elemento elástico (tubo Bourdon o cápsula) que varía la resistencia óhmica de un potenciómetro en función de la presión. El potenciómetro puede adoptar la forma de un

solo hilo continuo o bien estar arrollado a una bobina siguiendo un valor lineal o no de resistencia. Existen varios tipos de potenciómetros según sea el elemento de resistencia: potenciómetros de grafito, de resistencia bobinada, de película metálica y de plástico moldeado. En la Figura 20 puede verse un transductor resistivo representativo que consta de un muelle de referencia, el elemento de presión y un potenciómetro de precisión. El muelle de referencia es el corazón del transductor ya que su desviación al comprimirse debe ser únicamente una función de la presión y además debe ser independiente de la temperatura, de la aceleración y de otros factores ambientes externos.

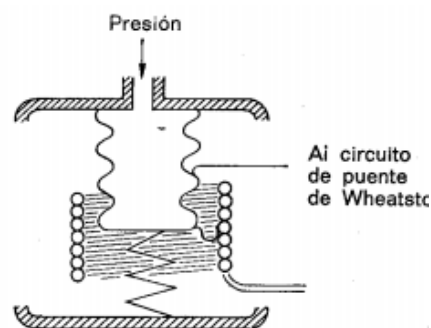


Figura 20 Transductor Resistivo

Fuente: (Creus, 1997)

- **Transductor Magnético de inductancia variable.**

En la Figura 21 se muestra su principio que consiste en un imán permanente o un electroimán que crea un campo magnético dentro del cual se mueve una armadura de material magnético.

El circuito magnético se alimenta con una fuerza magneto motriz constante con lo cual al cambiar la posición de la armadura varía la reluctancia y por lo tanto el flujo magnético. Esta variación del flujo da lugar a una corriente inducida en la bobina que es, por tanto, proporcional al grado de desplazamiento de la armadura móvil.

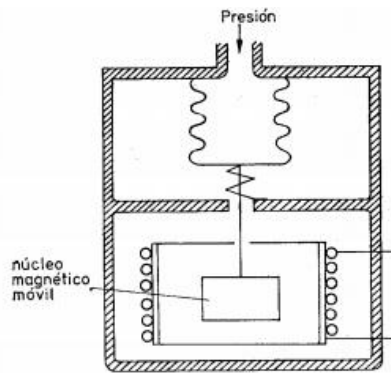


Figura 21 Transductor de Inductancia variable

Fuente: (Creus, 1997)

El devanado de la bobina se alimenta con una corriente alterna y la f.e.m. de autoinducción generada se opone a la f.e.m. de alimentación, de tal modo que el núcleo móvil dentro de la bobina la corriente presente en el circuito se va reduciendo por aumentar la f.e.m. de autoinducción.

Los transductores de inductancia variable tienen las siguientes ventajas, no producen rozamiento en la medición, tienen una respuesta lineal, son pequeños y de construcción robusta y no precisan ajustes críticos en el montaje. Su precisión es del orden de $\pm 1\%$.

- **Transductor piezoeléctrico.**

Los elementos piezoeléctricos Figura 22 son materiales cristalinos que, al deformarse físicamente por la acción de una presión, generan una señal eléctrica. Dos materiales típicos en los transductores piezoeléctricos son el cuarzo y el titanato de bario, capaces de soportar temperaturas del orden de 150°C en servicio continuo y de 230°C en servicio intermitente. Son elementos ligeros, de pequeño tamaño y de construcción robusta.

Su señal de respuesta a una variación de presión es lineal y son adecuados para medidas dinámicas, al ser capaces de respuestas frecuenciales de hasta un millón de ciclos por segundo. Tienen la desventaja de ser sensibles a los cambios en la temperatura y de experimentar deriva en el cero y precisar ajuste de impedancias en caso de fuerte choque.

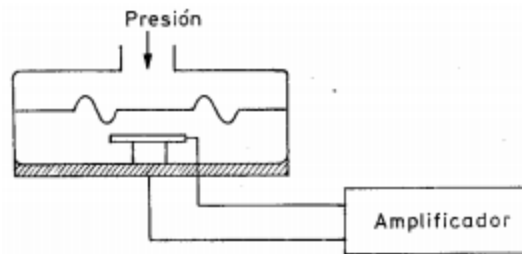


Figura 22 Transductor piezoeléctrico

Fuente: (Creus, 1997).

2.2.2. Sensores de caudal.

En la mayor parte de las operaciones realizadas en los procesos industriales y en las efectuadas en laboratorio y en plantas piloto es muy importante la medición de los caudales de líquidos o de gases. Existen varios métodos para medir caudal según sea el tipo de caudal volumétrico o másico deseado. Los transductores más conocidos y usados son los siguientes. (Creus, 1997).

- i. **Presión diferencial:** Placa orificio Tobera, Tubo Venturi, Pitot y Annubar.
- ii. **Área variable:** Rotámetro.
- iii. **Velocidad:** Vertedero con flotador, Turbina, Sondas ultrasónicas.
- iv. **Fuerza:** Placa de impacto.
- v. **Tensión inducida:** Medidor magnético.
- vi. **Desplazamiento Positivo:** Disco giratorio, pistón oscilante, pistón alternativo, medidor rotativo, paredes deformables.
- vii. **Torbellino:** Medidor de frecuencia de termistancia, o condensador o ultrasonidos.
- viii. **Momento:** Medidor axial, axial de doble turbina.

Los sensores de caudal usados para este proyecto son del tipo ultrasónicos y magnéticos, por lo tanto se realizara el análisis de los mismos.

- **Transductores ultrasónicos.**

Los transductores de ultrasonidos miden el caudal por diferencia de velocidades del sonido al propagarse éste en el sentido del flujo del fluido y en el sentido contrario. Los sensores están situados en una tubería de la que se conocen el área y el perfil de velocidades. Los principios de funcionamiento de estos instrumentos son variados. En uno de los modelos más sencillos mostrado en la Figura 23. La velocidad del fluido está determinada por la siguiente fórmula:

$$V = \frac{C^2 \tan \alpha * \Delta t}{2 D}$$

En la que:

V = velocidad del fluido.

C = velocidad del sonido en el fluido.

α = ángulo de haz del sonido con relación al eje longitudinal de la tubería.

D = Diámetro interior de la tubería.

Δt = diferencia entre los tiempos de transito del sonido aguas arriba y aguas abajo del fluido.

En todos estos sistemas, se utilizan transductores piezoeléctricos tanto para la emisión como para la recepción de las ondas ultrasónicas.

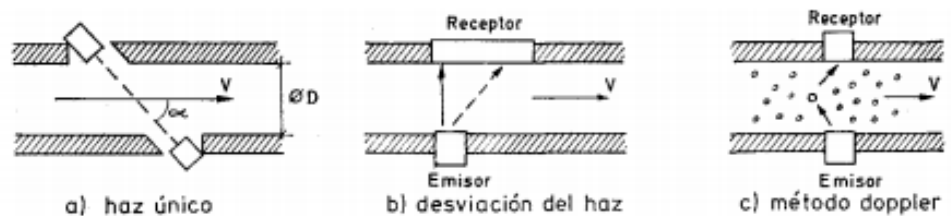


Figura 23: Medidores de caudal ultrasónico

Fuente: (Creus, 1997)

- **Medidor magnético de caudal.**

La ley de Faraday establece que la tensión inducida a través de cualquier conductor, al moverse éste perpendicularmente a través de un campo magnético, es proporcional a la velocidad del conductor. La regla de la mano derecha indica que colocando la mano derecha abierta, con la palma perpendicular a las líneas de fuerza del campo magnético, y los dedos en el sentido de la corriente del fluido, el pulgar señala el sentido de la corriente inducida. Suponiendo que el agua circula perpendicular al campo magnético de la Tierra. La fórmula de caudal que da la ley de Faraday es la siguiente:

$$E_a = K B l v$$

E_a = tensión generada en el conductor.

K = constante.

B = densidad.

l = longitud del conductor.

v = velocidad del movimiento.

En el medidor magnético de caudal que se muestra en la Figura 24, el conductor es el líquido y es la señal generada, esta señal es captada por dos electrodos rasantes con la superficie interior del tubo y diametralmente opuestos.

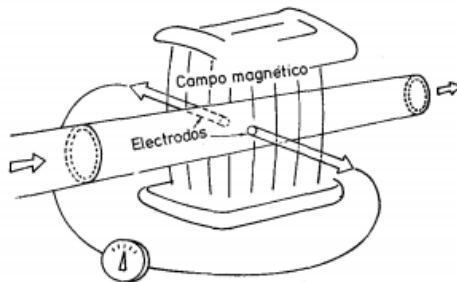


Figura 24 Medidor magnético de caudal

Fuente: (Creus, 1997)

2.2.3. Sensores de nivel.

En la industria, la medición de nivel es muy importante, tanto desde el punto de vista del funcionamiento correcto del proceso como de la consideración del balance adecuado de materias primas o de productos finales.

La utilización de instrumentos electrónicos con microprocesador en la medida de otras variables, tales como la presión y la temperatura, permite añadir “inteligencia” en la medida del nivel, y obtener precisiones de lectura altas, del orden de $\pm 0,2 \%$, en el inventario de materias primas o finales o en transformación en los tanques del proceso. El transmisor de nivel hace posible la interpretación del nivel real (puede eliminar o compensar la influencia de la espuma en flotación del tanque, en la lectura), la eliminación de las falsas alarmas (tanques con olas en la superficie debido al agitador de paletas en movimiento), y la fácil calibración del aparato en cualquier punto de la línea de transmisión. (Creus, 1997).

- **Sistema ultrasónico de medición de nivel**

Se basa en la emisión de un impulso ultrasónico a una superficie reflectante y la recepción del eco del mismo en un receptor. El retardo en la captación del eco depende del nivel del tanque. Los sensores trabajan a una frecuencia de unos 20 kHz. Estas ondas atraviesan con cierto amortiguamiento o reflexión ambiente de gases o vapores y se reflejan en la superficie del sólido o del líquido. En la figura 25 pueden verse varias disposiciones de montaje de los detectores que se utilizan en los casos de alarmas o de indicación continua del nivel. En las aplicaciones de alarma de nivel los sensores vibran a una frecuencia de resonancia determinada, que se amortigua cuando el líquido los moja.

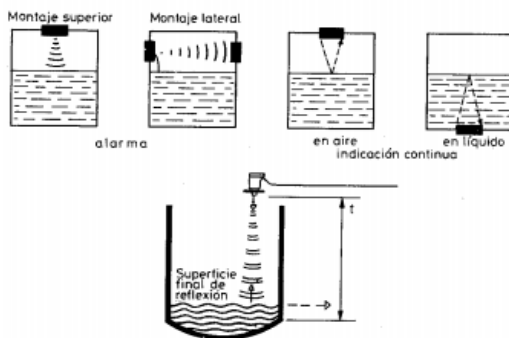


Figura 25 Transductor ultrasónico de nivel

Fuente: (Creus, 1997)

En el segundo caso de indicación continua del nivel, la fuente ultrasónica genera impulsos que son detectados por el receptor una vez ha transcurrido el tiempo correspondiente de ida y vuelta de la onda a la superficie del sólido o del líquido.

En la Figura 26 puede verse el diagrama de bloques de un sistema de medida de ultrasonidos. El sensor emisor dispone de un oscilador excitador para enviar un impulso ultrasónico a la superficie del fluido y el sensor receptor recibe esta señal reflejada enviando una señal función del tiempo transcurrido, y por lo tanto del nivel, a un oscilógrafo o a un indicador.

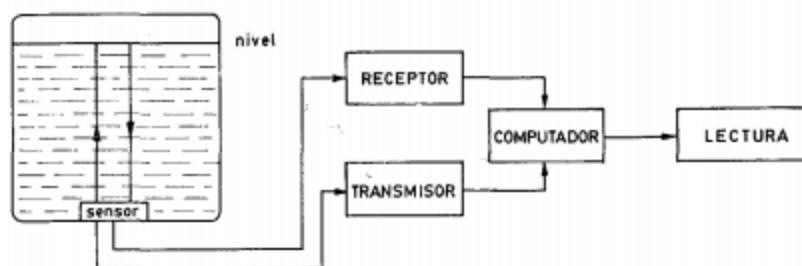


Figura 26 Diagrama de bloques de un transductor ultrasónico

Fuente: (Creus, 1997).

2.2.4. Sensores de temperatura.

La medida de temperatura constituye una de las mediciones más comunes y más importantes que se efectúan en los procesos industriales. Las limitaciones del sistema de medida quedan definidas en cada tipo de aplicación por la precisión, por la velocidad de captación de la temperatura, por la distancia entre el elemento de medida y el aparato receptor y por el tipo de instrumento indicador, registrador o controlador necesarios; es importante señalar que es esencial una comprensión clara de los distintos métodos de medida con sus ventajas y desventajas propias para lograr una selección óptima del sistema más adecuado. (Creus, 1997).

- **Termistores.**

Los termistores son semiconductores electrónicos con un coeficiente de temperatura de resistencia negativo de valor elevado, por lo que presentan unas variaciones rápidas y extremadamente grandes para los cambios relativamente pequeños en la temperatura. Los termistores se fabrican con óxidos de níquel, manganeso, hierro, cobalto, cobre, magnesio, titanio y otros metales, y están encapsulados. La relación entre la resistencia del termistor y la temperatura viene dada por la expresión.

$$R_t = R_o * e^{\beta * (\frac{1}{T_t} - \frac{1}{T_o})}$$

En la que:

R_t = resistencia en ohmios a la temperatura absoluta T_t .

R_o = resistencia en ohmios a la temperatura absoluta de referencia T_o .

β = constante dentro de un intervalo moderado de temperatura.

La distancia entre el termistor y el instrumento de medida puede ser considerable siempre que el elemento posea una alta resistencia comparada con la de los cables de unión. La corriente que circula por el termistor a través del circuito de medida debe ser baja para garantizar que la variación de resistencia del elemento sea debida exclusivamente a los cambios de temperatura del proceso. Los termistores encuentran su

principal aplicación en la medición, la compensación y el control de temperatura, y como medidores de temperatura diferencial.

- **Termopares.**

El termopar se basa en el efecto descubierto por Seebeck en 1821, de la circulación de una corriente en un circuito formado por dos metales diferentes cuyas uniones (unión de medida o caliente y unión de referencia o fría) se mantienen a distinta temperatura, Figura 27. Esta circulación de corriente obedece a dos efectos termoeléctricos combinados, el efecto Peltier que provoca la liberación o absorción de calor en la unión de dos metales distintos cuando una corriente circula a través de la unión y el efecto Thomson que consiste en la liberación o absorción de calor cuando una corriente circula a través de un metal homogéneo en el que existe un gradiente de temperaturas.

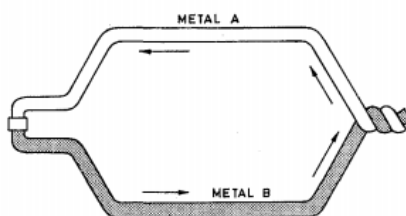


Figura 27 Termopar y uniones de metales

Fuente: (Creus, 1997).

La combinación de los dos efectos, de Peltier y de Thomson, es la causa de la circulación de corriente al cerrar el circuito en el termopar. Esta corriente puede calentar el termopar y afectar la precisión en la medida de la temperatura, por lo que durante la medición debe hacerse mínimo su valor. Se establecen tres leyes que rigen el funcionamiento de un termopar:

- Ley del circuito homogéneo. En un conductor metálico homogéneo no puede sostenerse la circulación de una corriente eléctrica por la aplicación exclusiva de calor.

- Ley de los metales intermedios. Si en un circuito de varios conductores la temperatura es uniforme desde un punto de soldadura A a otro punto B, la suma algebraica de todas las fuerzas electromotrices es totalmente independiente de los conductores metálicos intermedios y es la misma que si se pusieran en contacto directo A y B.
- Ley de las temperaturas sucesivas. La f.e.m. generada por un termopar con sus uniones a las temperaturas T1 y T3 es la suma algebraica de la f.e.m. del termopar con sus uniones a T1 y T2 y de la f.e.m. del mismo termopar con sus uniones a las temperaturas T2 y T3.

2.3. Sistemas de control.

El control automático se ha vuelto una parte importante e integral de los procesos modernos industriales y de manufactura. Por ejemplo, el control automático es esencial en el control numérico de las máquinas-herramienta de las industrias de manufactura, en el diseño de sistemas de pilotos automáticos en la industria aeroespacial, y en el diseño de automóviles y camiones en la industria automotriz. También es esencial en las operaciones industriales como el control de presión, temperatura, humedad, viscosidad y flujo en las industrias de proceso. Antes de analizar sistemas de control, deben definirse ciertos términos básicos. (Ogata, 1998).

- **Variable controlada y variable manipulada.** La variable controlada es la cantidad o condición que se mide y controla. La variable manipulada es la cantidad o condición que el controlador modifica para afectar el valor de la variable controlada. Por lo común, la variable controlada es la salida (el resultado) del sistema.

- **Plantas.** Una planta puede ser una parte de un equipo, tal vez un conjunto de las partes de una máquina que funcionan juntas, el propósito de la cual es ejecutar una operación particular. Planta es cualquier objeto físico que se desea controlar.
- **Procesos.** Se definirá proceso a cualquier elemento u operación que se desee o se va a controlar. Algunos ejemplos para este proyecto son los procesos de bombeo, proceso de captación o procesos de conducción.
- **Perturbaciones:** Es una señal que tiende a afectar negativamente el valor de la salida de un sistema. Si la perturbación se genera dentro del sistema se denomina interna, en tanto que una perturbación externa se produce fuera del sistema y es una entrada.

Como ejemplo de un sistema de control se toma el control de temperatura de una cabina de un automóvil, la temperatura deseada, convertida a un voltaje, es la entrada del controlador. La temperatura real del compartimento del pasajero se convierte a un voltaje mediante un sensor y se alimenta al controlador para que éste la compare con la entrada. La temperatura ambiente y la transferencia térmica por radiación del Sol, que no son constantes conforme se conduce el automóvil, funcionan como perturbaciones. Este sistema emplea tanto un control realimentado. La Figura 28 muestra en diagramas de bloque el sistema de control en ejemplo.

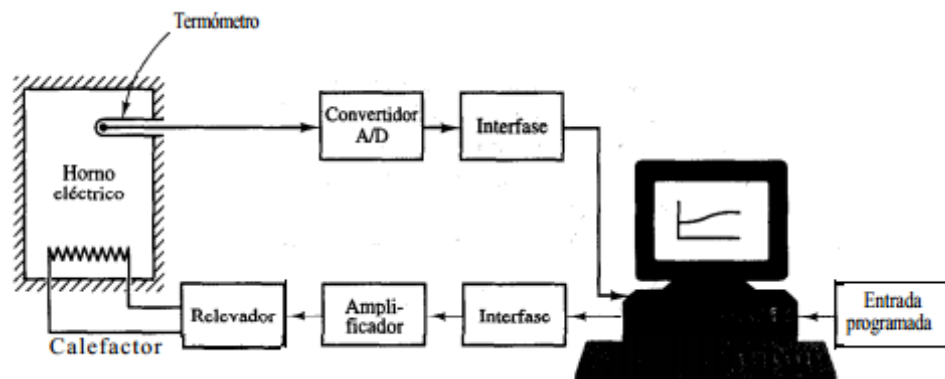


Figura 28 Ejemplo de sistemas de control, Control de Temperatura

Fuente: (Ogata, 1998)

2.3.1. Control en Lazo Cerrado en comparación con el control en Laza Abierto.

- **Sistemas de control en lazo abierto.**

Los sistemas en los cuales la salida no afecta la acción de control se denominan sistemas de control en lazo abierto. En otras palabras, en un sistema de control en lazo abierto no se mide la salida ni se realimenta para compararla con la entrada. Un ejemplo práctico es una lavadora. El remojo, el lavado y el enjuague en la lavadora operan con una base de tiempo. La máquina no mide la señal de salida, que es la limpieza de la ropa. En cualquier sistema de control en lazo abierto, la salida no se compara con la entrada de referencia. Por tanto, a cada entrada de referencia le corresponde una condición operativa fija; como resultado, la precisión del sistema depende de la calibración. Ante la presencia de perturbaciones, un sistema de control en lazo abierto no realiza la tarea deseada. En la práctica, el control en lazo abierto sólo se usa si se conoce la relación entre la entrada y la salida y si no hay perturbaciones internas ni externas. (Ogata, 1998).

- **Sistemas de control en lazo cerrado.**

Los sistemas de control realimentados se denominan también sistemas de control en lazo cerrado. En un sistema de control en lazo cerrado, se alimenta al controlador la señal de error de actuación, que es la diferencia entre la señal de entrada y la señal de realimentación (que puede ser la señal de salida misma o una función de la señal de salida y sus derivadas y/o integrales), a fin de reducir el error y llevar la salida del sistema a un valor conveniente. El término control en lazo cerrado siempre implica el uso de una acción de control realimentado para reducir el error del sistema.

- **Sistemas de control en Lazo Cerrado en comparación con los sistemas en Lazo Abierto.**

Una ventaja del sistema de control en lazo cerrado es que el uso de la realimentación vuelve la respuesta del sistema relativamente insensible a las perturbaciones externas y a

las variaciones internas en los parámetros del sistema. Por tanto, es posible usar componentes relativamente precisos y baratos para obtener el control adecuado de una planta determinada, en tanto que hacer eso es imposible en el caso de un sistema en lazo abierto. Desde el punto de vista de la estabilidad, el sistema de control en lazo abierto es más fácil de desarrollar, porque la estabilidad del sistema no es un problema importante. Por otra parte, la estabilidad es una función principal en el sistema de control en lazo cerrado, lo cual puede conducir a corregir en exceso errores que producen oscilaciones de amplitud constante o cambiante.

Debe señalarse que, para los sistemas en los que se conocen con anticipación las entradas y en los cuales no hay perturbaciones, es aconsejable emplear un control en lazo abierto. Los sistemas de control en lazo cerrado sólo tienen ventajas cuando se presentan perturbaciones impredecibles y/o variaciones impredecibles en los componentes del sistema.

- **Diseño de sistema de control.**

Los sistemas de control actuales son, por lo general, no lineales. Sin embargo, si es posible aproximarlos mediante modelos matemáticos lineales, podemos usar uno o más métodos de diseño bien desarrollados. En un sentido práctico, las especificaciones de desempeño determinadas para el sistema particular sugieren cuál método usar. Si se presentan las especificaciones de desempeño en términos de las características de respuesta transitoria y/o las medidas de desempeño en el dominio de la frecuencia, no tenemos otra opción que usar un enfoque convencional basado en los métodos del lugar geométrico de las raíces y/o la respuesta en frecuencia. Si las especificaciones de desempeño se presentan como índices de desempeño en términos de las variables de estado, deben usarse los enfoques de control moderno.

En tanto que el diseño de un sistema de control mediante los enfoques del lugar geométrico de las raíces y de la respuesta en frecuencia es una tarea de la ingeniería, el diseño del sistema en el contexto de la teoría de control moderna (métodos en el espacio de

estados) emplea formulaciones matemáticas del problema y aplica la teoría matemática para diseñar los problemas en los que el sistema puede tener entradas y salidas múltiples y ser variantes con el tiempo.

2.4. Sistemas de comunicación.

Para ser transmitido un mensaje, se requiere de un sistema de comunicación que permita que la información sea transferida, a través del espacio y el tiempo, desde un punto llamado fuente hasta otro punto de destino, mediante un cable como en el caso de un teléfono o por ondas como en el caso de las radios. Los mensajes pueden presentarse bajo diferentes formas: una secuencia de símbolos, intensidad de la luz y los colores de una imagen televisada, la presión acústica de la voz, etc.

Los sistemas de comunicación brindan los medios para que la información, codificada en forma de señal, se transmita o intercambie. Un sistema de comunicación consta de tres componentes esenciales: transmisor, canal de transmisión y el receptor. El mensaje original, producido por la fuente, no es eléctrico. Debe ser convertido en señales eléctricas a través de un transductor de entrada. En el destino, otro transductor de salida cumple la función de transformar nuevamente la señal para que llegue al receptor del modo en el que fue emitido el mensaje. **(Bosch, 2002).**

2.4.1. Medio de transmisión.

Los medios de transmisión son aquellas estructuras físicas que soportan la propagación de las ondas electromagnéticas asociadas a los bits o señales analógicas, a enviar de un punto geográfico a otro. Constituyen, por tanto, la infraestructura más básica de toda red de comunicaciones. Los medios de transmisión pueden ser guiados y no guiados.

En los medios guiados, el campo electromagnético asociado a la información transportada está confinado alrededor de la estructura física del medio. Están realizados a base de: Materiales de alta conductividad eléctrica, o a su vez con elementos que poseen elevada conductividad óptica. Por otra parte existen en los medio de transmisión partes dedicadas a funciones de soporte mecánico, aislamiento o protección. Existen los siguientes tipos de medios de transmisión. **(Bosch, 2002).**

- **Líneas de pares paralelos.**

Formada por dos conductores separados paralelamente. De bajo coste, ofrecen características de transmisión muy limitadas como tasa de transmisión < 20 Kbit/s; distancia < 50 m. Principales desventajas captación de ruido y vulnerable a interferencia, la norma EIA RS232 usa este medio de trasmisión.

- **Líneas de pares trenzados.**

Formada por dos conductores trenzados sobre sí mismo. Su geometría cambiante reduce la captación de ruido, las pérdidas por radiación y la diafonía entre pares cercanos. De bajo coste, ofrece mejores características de transmisión como son tasa de transmisión < 1 Mbit/s.; distancia < 100 m. Las principales versiones de este medio son las conocidas UTP Y STP.

- **Línea Coaxial.**

Formada por un conductor cilíndrico y otro conductor en el interior que discurre axialmente al primero. Su geometría hace que el campo electromagnético quede prácticamente confinado en su interior, reduciéndose grandemente la captación de ruido e interferencias así como las pérdidas por radiación. El material dieléctrico existente entre ambos conductores, necesario para mantener la estructura mecánica de la línea, influye notablemente en sus características. Sus características de transmisión podrían ser: tasa de

transmisión de 10 Mbit/s a 1 Gbit/s; distancias de 200 m a varios km. Su principal uso es en el servicio de televisión por cable.

- **Fibra óptica.**

Formada por una fibra de vidrio silíceo cuyo índice de refracción disminuye de forma abrupta o suave en sentido radial, desde el centro hacia la periferia. Por ella se propaga, conducida por fenómenos de reflexión o refracción, una onda electromagnética de frecuencia muy elevada actuando como portadora. Los tipos de fibra óptica a tratar son Mono Modo y Multi Modo.

Multi modo, En estas fibras el diámetro del núcleo es mucho mayor que la longitud de onda (λ) de la onda luminosa, por lo que existen varios caminos posibles a lo largo de la fibra, es decir, múltiples modos de propagación. Esto hace que en el extremo receptor se superpongan ondas luminosas que han viajado distancias ligeramente distintas y, por tanto, con retrasos también distintos, originándose una dispersión o ensanchamiento de los pulsos de luz transmitidos que llegan a confundirse unos con otros cuando su tasa supera cierto valor. Características de transmisión como tasa < 200 Mbit/s; distancias < 2 km.

Mono Modo en estas fibras el diámetro del núcleo es de unas pocas veces la λ de la onda luminosa que se propaga por ella. Esto hace que las ondas se propaguen de forma más rectilínea, básicamente por un único camino o modo de propagación. En el extremo receptor tendremos, por tanto, un menor ensanchamiento de los pulsos que se traducirá en mayores prestaciones: tasa de transmisión de 1 a 10 Gbit/s; distancias de 10 a 50 km.

2.4.2. Tipos de redes según su capacidad de cobertura.

Las redes se clasifican tradicionalmente según tres parámetros, velocidad de acceso, distancia cubierta y tipo de propiedad/explotación, así se tiene: **(Bosch, 2002)**.

- **WAN, Wide Area Networks.**

Las redes de área extensa comúnmente se caracterizan por tener una velocidad de acceso moderada (de 1 a 64 kbit/s; o hasta 2 Mbit/s.), distancias cubiertas grandes (de 100 a 20.000 km) y propiedad pública. Ejemplos de este tipo de redes son: la red telefónica tradicional y la RDSI, las redes públicas de datos con estándar de acceso X.25 (en retroceso), internet, etc.

- **LAN, Local Area Networks.**

Las redes de área local tradicionales se caracterizan por tener velocidades de acceso elevadas (de 0,2 a 16 Mbit/s; o hasta 1000 Mb/s si se incluyen las variantes más recientes), distancias cubiertas reducidas (de 200 m a 5 km) y propiedad/explotación privada. Ejemplos de este tipo de redes son: Ethernet (IEEE 802.3), Token Ring (IEEE 802.5), AppleTalk (norma propietaria en declive), etc.

- **MAN, Metropolitan Area Networks.**

Las redes de área metropolitana se caracterizan por tener velocidades de acceso muy elevadas (de 30 a 150 Mbit/s y en la actualidad hasta los 10 Gbit/s), distancias cubiertas medianas (10 a 50 km, las correspondientes a una ciudad y su área de influencia) y propiedad/explotación a medio camino entre lo público y lo privado. La Figura 29 muestra la clasificación de los tipos de redes según su cobertura.

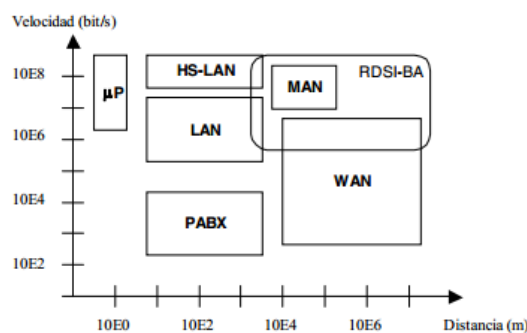


Figura 29 Ámbito de aplicación de los distintos tipos de redes según los parámetros

2.4.3. Clasificación de las topologías de red.

La topología de red es la disposición lógica de los elementos, enlaces y nodos de una red. Así pueden definirse diversos modelos de topologías básicas, la Figura 30 presenta gráficamente cada una de estos tipos de topologías de red

- Malla:** Cuando cualquier nodo está unido directamente a todos los demás mediante un enlace directo, se dice que la red presenta una topología de malla completa.
- Estrella:** Los distintos nodos están unidos a un único nodo central.
- Árbol:** Los distintos nodos están distribuidos en forma de ramificaciones sucesivas a partir de una única raíz.
- Bus:** Todos los nodos unidos por un enlace común.
- Anillo:** Los nodos están unidos en cadena, uno tras otro, cerrándose esta sobre si misma de manera circular.

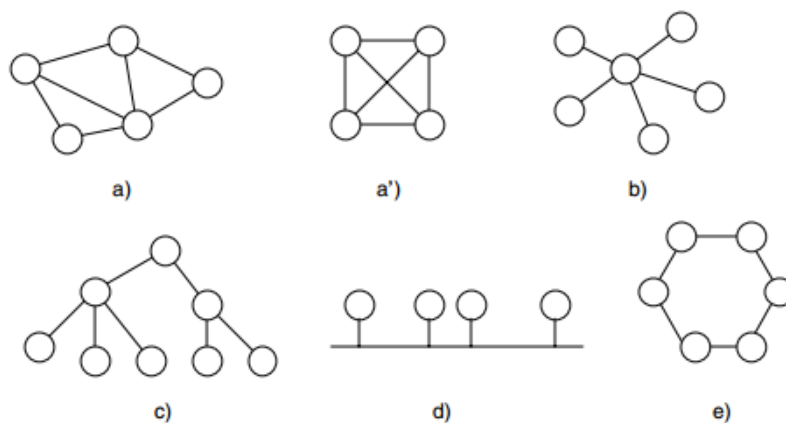


Figura 30 Topología de red, a) malla, b) estrella, c) árbol, d) bus, e) anillo

Fuente: (Bosch, 2002)

2.4.4. Arquitectura de comunicación.

Las arquitecturas de comunicaciones permiten ordenar la estructura necesaria para la comunicación entre equipos mediante una red de modo que puedan ofrecerse servicios añadidos al simple transporte de información, algunos tan importantes como la corrección de datos o la localización del destinatario en un medio compartido. En esta arquitectura, deben definirse ante todo algunos conceptos esenciales: **(Bosch, 2002)**.

- Proceso de aplicación: cualquier proceso (programa de aplicación en ejecución) en un sistema informático que ofrezca alguna utilidad al usuario.
- Sistema final: sistema informático donde residen procesos de aplicación; en ciertos contextos se le llama acertadamente host (anfitrión). Son los antiguamente llamados mainframes, las estaciones de trabajo, los PCs, etc.\
- Sistema intermedio: sistema que, en general, no posee aplicaciones de usuario y actúa como nodo de conmutación e interconexión en las redes; son los repetidores, puentes (bridges) y routers, gateways, cada uno de ellos con funcionalidades específicas.
- Protocolo de comunicación: Conjunto de reglas para el intercambio de información y de definiciones de los formatos de los mensajes para la interacción fructífera entre dos o más entidades. Por ejemplo, el popular protocolo IP, base de Internet.

En toda comunicación entre equipos finales de un medio, existen diversas cuestiones a las que buscar resolver solución con el fin de alcanzar el establecimiento de conexión.

- i. Identificación de orígenes / destinos (direccionamiento).
- ii. Control de errores de transmisión (algoritmos de detección y corrección).
- iii. Pérdidas de secuencia (numeración y reordenamiento).

- iv. Diferencia de velocidad, saturaciones (control de flujo).
- v. Diferencia de longitud (segmentación).
- vi. Optimización de costes (multiplexado y concatenación).
- vii. Diferencias de representación de la información (sintaxis común, conversión).
- viii. Gestión del acceso a recursos compartidos (protocolos de acceso, priorización).
- ix. Determinación del mejor camino a seguir (encaminamiento).

2.5. Sistemas de supervisión y monitoreo.

2.5.1. Sistemas SCADA.

En los modernos procesos industriales y de manufacturas, minerías, en las empresas públicas y privadas, ocio e industrias de seguridad la telemetría es usualmente necesaria para conectar equipos y sistemas separados por una larga distancia. El rango de estas distancias puede ir desde unos pocos metros a miles de kilómetros. La telemetría es usada para enviar comandos u órdenes y recibir información del monitoreo desde lugares remotos.

Los sistemas SCADA se orientan a la combinación de la telemetría con la adquisición de datos. Dedicados a la colección de la información, transfiriéndola a la central de operación, llevando cualquier análisis y control necesario para ser desplegada la información en una cierta cantidad de pantallas o interfaces de operador. La información requerida para las acciones de control es transportada hacia los procesos. **(David Bailey, 2003).**

Las ventajas de un sistema PLC / DCS SCADA son:

- i. La computadora puede grabar y almacenar una gran cantidad de datos.
- ii. Los datos pueden ser mostradas en cualquier forma que el usuario requiera.
- iii. Miles de sensores sobre una gran área pueden ser conectados al sistema.

- iv. Los operadores pueden incorporar una simulación real dentro del sistema.
- v. Muchos tipos de datos pueden ser tomados desde las RTUs.
- vi. Los datos pueden ser visualizados desde cualquier lugar, no solo uno.

Las desventajas son:

- i. El sistema es mucho más complejo que un sistema de sensor y panel.
- ii. Diferentes habilidades de operación son requeridas, tales como análisis de sistemas y programación.
- iii. Con miles de sensores sigue siendo necesario contar con mucho cable.
- iv. El operador no ve directamente el proceso solo ve hasta el PLC.

- **Hardware de un SCADA.**

Un sistema SCADA consiste de un número de unidades terminales remotas RTUs, recolectando los datos de campo y enviándolos de retorno a la estación central o maestra, por intermedio de un sistema de comunicación. La estación central muestra la información adquirida y permite al operador ejecutar acciones de control de manera remota.

Los datos exactos y oportunos permiten la optimización de operación de la planta y el proceso. Otros beneficios incluyen más eficiencia, confiabilidad y sobretodo operaciones más seguras. Resultando en un menor costo de operación en comparación con sistemas antiguos. En un sistema SCADA más complejo hay cinco niveles esenciales de jerarquía.

- i. Nivel de campo, instrumentación y dispositivos de control.
- ii. Unidades terminales remotas, RTU.
- iii. Sistema de comunicaciones.
- iv. Estación maestra o central.
- v. El sistema informático del departamento de procesamiento de datos comerciales.

Las RTU proveen una interfaz al campo de instrumentación, ubicados remotamente, el sistema de comunicaciones provee un camino entre la estación maestra y los procesos remotos. Estos sistemas de comunicación pueden ser cableados, fibra óptica, radio comunicación, línea de teléfono, microonda y posiblemente hasta satélite. Actualmente se usa métodos y protocolos que ayudan a la detección de errores, eficiencia y optimización de la transferencia de datos. **(David Bailey, 2003).**

- **Software de un SCADA.**

El software de un SCADA puede ser dividido en dos tipos, propietario y abierto. Las compañías desarrollan software propietarios para comunicar su propio hardware. Este sistema es vendido como soluciones. El principal problema con este sistema es la fuerte dependencia con los proveedores del sistema. El software abierto ha ganado popularidad debido a la interoperabilidad que brindan al sistema. Interoperabilidad es la habilidad de mezclar equipos de diferentes fabricantes en un mismo sistema. La Figura 31 muestra los componentes físicos de un sistema SCADA, y están indicados a continuación.

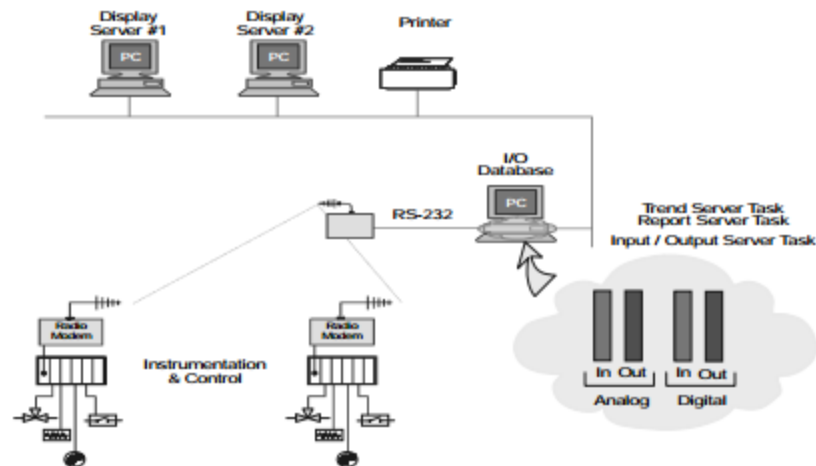


Figura 31 Componentes de un típico sistema SCADA

Fuente: (David Bailey, 2003)

Las características y componentes de un software SCADA son: Interfaz de usuario, gráficos, alarmas, históricos, RTU y PLC interfaces, escalabilidad, acceso a datos, base de datos, trabajo en red, procesamiento cliente/servidor y tolerancia a fallos y redundancia. **(David Bailey, 2003).**

- **Unidades terminales remotas.**

Una RTU como su nombre lo implica, es un dispositivo automático usado para adquisición de datos y unidad de control, generalmente basada en microprocesador, con su interfaz y controles en una ubicación remota a la estación central. Su tarea primaria es controlar y adquirir datos de un proceso y transmitirlos de regreso a la estación central o maestra.

Por lo general, también tiene la facilidad de tener sus programas de configuración y control descargados dinámicamente desde alguna estación central. Hay también una facilidad para ser configurado localmente por alguna unidad de programación RTU. Aunque tradicionalmente la RTU se comunica de nuevo a alguna estación central, es también posible la comunicación sobre una base de igual a igual con otras RTU.

La RTU también puede actuar como una estación de relevo (a veces referido como una estación hacia adelante) a otra RTU, que puede no ser accesible desde la estación central. Las RTU de tamaño pequeño generalmente manejan entre 10 a 20 entradas analógicas y digitales, las de tamaño medio tienen 100 entradas digitales y de 30 a 40 analógicas. **(David Bailey, 2003).**

- **PLC usada como una RTU (David Bailey, 2003).**

Un PLC o controlador lógico programable es un dispositivo basado en una computadora de estado sólido que controla los procesos y equipamientos de la industria. Fue inicialmente diseñada para realizar funciones lógicas ejecutadas por relés, interruptores, temporizadores y contadores mecánicos. El control analógico es una

función estándar de los PLC. La ventaja de un PLC sobre una RTU, es que es ofertado por varios fabricantes y puede ser usada con propósito general, y fácilmente puede ser configurada para una variedad de diferentes funciones. Los PLC cuentan con una fuerte popularidad debido a las siguientes razones:

- **Soluciones económicas,** PLC son una solución más económica que las propuestas por una RTU.
- **Versatilidad y flexibilidad,** PLC pueden fácilmente tener su lógica o hardware modificado para hacer frente a las modificaciones de los requisitos de control.
- **Fácil diseño e instalación,** PLC hacen el diseño e instalación de un sistema SCADA más fácil debido al énfasis de su software.
- **Mayor confiabilidad,** cuando la instalación de un PLC es correcta estos sistemas se vuelven más confiables que un sistema manejado por RTU.
- **Control Sofisticado,** los PLC permiten un control mucho más sofisticado, debido a las capacidades del software, que una RTU.
- **Físicamente compacto,** PLC necesitan de mucho menor espacio de instalación que otras alternativas de solución.
- **Mayor facilidad en diagnóstico de problemas,** el software maneja un sistema de reportes sobre errores ocurridos en el firmware/software/hardware, de igual forma identifica problemas en los procesos automatización.

2.5.2. Redes Industriales.

En industria moderna, las comunicaciones de datos entre sistemas, procesos e instalaciones suponen uno de los pilares fundamentales para que esta se encuentre en un

nivel de competitividad exigida en los procesos productivos actuales. **(Vicente Guerrero, 2009).**

En un sistema de comunicación de datos industrial es tanto más exigente cuanto más cerca del proceso nos encontramos. Si se realiza una comparativa entre tres de las principales características que determinan la aplicación de las diferentes redes de comunicación como son:

- i. Volumen de datos: Cantidad de datos que viajan por la red en cada envío.
- ii. Velocidad de transmisión: Velocidad a la que viajan los datos por la red.
- iii. Velocidad de respuesta: Velocidad que hay entre el momento de dar la orden y la respuesta del dispositivo.

Si queremos comunicar un proceso industrial con la red de ordenadores, estos ordenadores podrían ser utilizados para la lectura de base de datos en donde se refleja el estado actual de la producción. En este caso la velocidad de respuesta es baja, ya que se debe tener en cuenta el tráfico de datos por esa red, en este caso los datos llegarán al sistema de destino con algún segundo de retardo, lo que no va a provocar ninguna disfunción en el sistema productivo, mientras que cuando un detector de proximidad cambie de estado la respuesta en el equipo de control, por ejemplo un autómata programable, ha de ser inmediata, algún milisegundo de retardo a lo sumo.

Dentro de las redes de comunicación existen diferentes niveles que cumplen en cada caso las exigencias funcionales solicitadas. De ahí nace lo que se conoce como la pirámide de comunicación. Reconocida por todos los fabricantes de dispositivos para las redes de datos y está formada por cuatro niveles que son:

- i. Nivel de oficina: Formado básicamente por ordenadores tanto a nivel de oficina como de ingeniería.
- ii. Nivel de Planta: Son ordenadores con aplicaciones específicas que intervienen directamente en el proceso.

- iii. Nivel de célula: Son todos los componentes automáticos o controladores que intervienen directamente en el proceso.
- iv. Nivel de Campo: Son todos los dispositivos que provocan los movimientos en el proceso productivo.

En la Figura 32 se muestra los niveles de la pirámide de comunicación y los componentes de cada nivel.

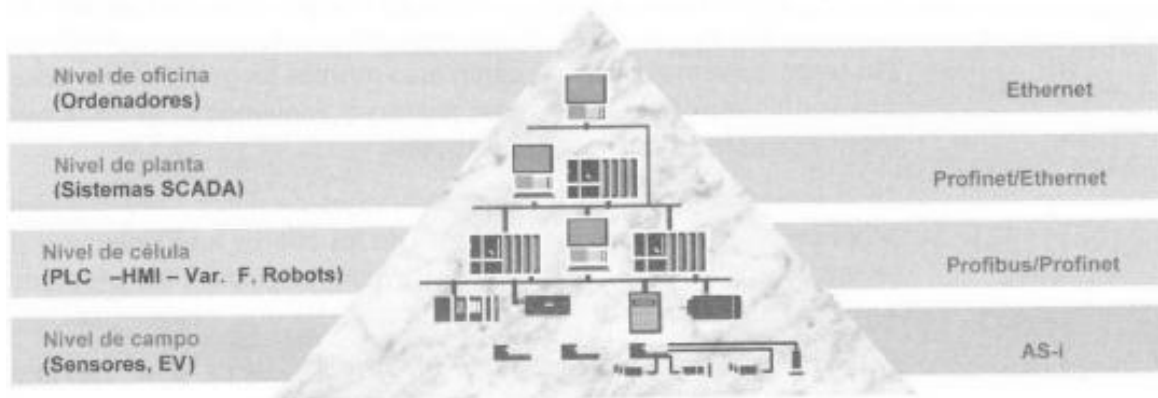


Figura 32 Pirámide de las comunicaciones dentro de la industria

Fuente: (Vicente Guerrero, 2009)

2.5.2.1. Sistemas de control de una red industrial.

Dependiendo de la complejidad del sistema o de los componentes que intervienen en la red de comunicación, podemos clasificar el tipo de control en: Sistema Centralizado, es cuando el control se realiza por un solo sistema y Sistema distribuido, cuando el control se realiza a través de diferentes sistemas conectados en red. **(Vicente Guerrero, 2009).**

- **Control Centralizado.**

Es efectivo mientras el sistema no sea excesivamente grande ni complejo, es fácil de mantener, ya que solo hay un único controlador. Al existir un único controlador, no existen

problemas de compatibilidad, consecuentemente son muy delicados a los fallos, si el controlador falla, todo se detiene. La Figura 33 muestra un ejemplo de sistema de control distribuido.

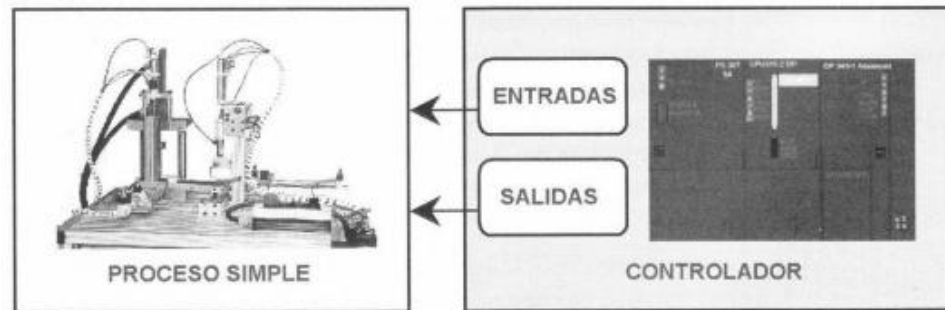


Figura 33 Sistema de control centralizado

Fuente: (Vicente Guerrero, 2009)

- **Control Distribuido.**

Es dedicado para sistemas grandes o complejos, la responsabilidad es repartida entre diferentes controladores, pero todos los controladores deben comunicarse a través de una red. Su capacidad tiende a ser superior a un sistema centralizado y se caracteriza por ser un sistema más flexible que el centralizado.

Se pueden hacer ampliaciones con otros controladores cuando estos están programados y con funcionamiento correcto, entonces se integra la red de comunicaciones de los demás controladores. Se puede partir de un sistema básico e ir ampliando a medida que el sistema lo exija, añadiendo módulos u otros controladores permitiendo la integración de dispositivos de diferentes fabricantes comunicables entre sí. La Figura 34 muestra un diagrama de un proceso complejo controlado por un sistema distribuido.

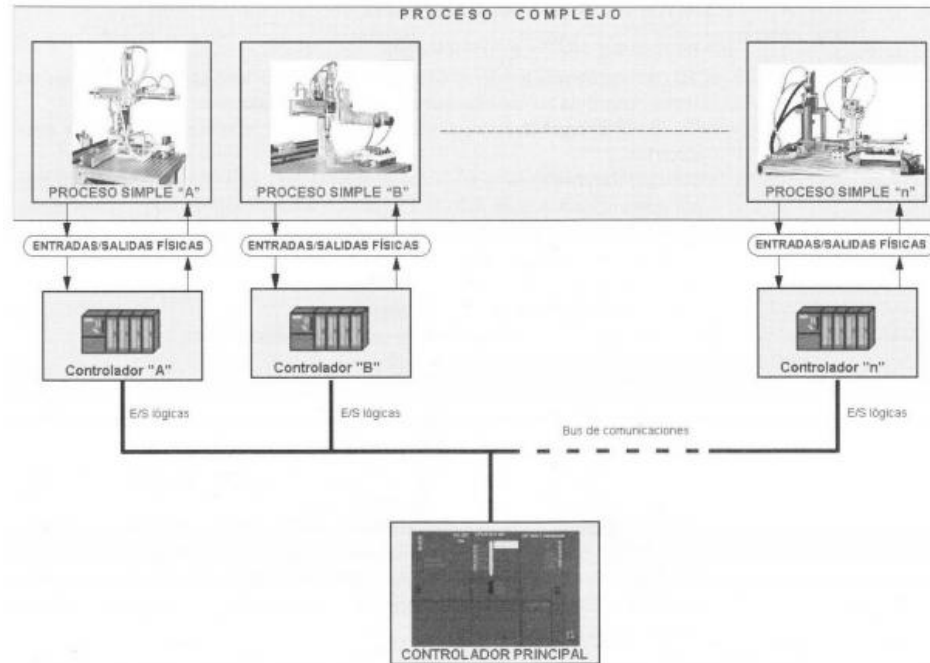


Figura 34 Sistema de control distribuido

Fuente: (Vicente Guerrero, 2009)

2.5.3. Interconexión de redes.

Cuando se diseña un tipo de red, en esta se incorporan todos los dispositivos necesarios para un correcto funcionamiento de esta, pero es posible que esta red con el tiempo deba ser ampliada, deba poderse conectar a otras redes del mismo o diferente tipo. Para cubrir estas necesidades existen una serie de dispositivos auxiliares para que la red pueda alcanzar esos objetivos de interconexión, elementos como: Repetidor, Puente, Router, Gateway. (Vicente Guerrero, 2009).

- **Repetidor.**

El objetivo de este equipo es la regeneración de las señales eléctricas y garantizar las conexiones entre los elementos de una red. Operan en el nivel 1 del modelo OSI, dado que

tan solo vuelven a acondicionar los valores de las señales eléctricas y no intervienen ni en el control de acceso ni en la topología.

- **Puente.**

Es una máquina de red que posee alguna inteligencia, y realiza una serie de operaciones básicas en la red. Son capaces de almacenar y reenviar las tramas recibidas en función del contenido de las mismas. Su principal aplicación es la de unir dos redes del mismo tipo. Se encuentran en la capa 2, su unidad de operación es la trama de red.

- **Router.**

Son dispositivos software o hardware que se pueden configurar para encaminar o convertir paquetes entre sus distintos puertos utilizando la dirección lógica correspondiente o dirección IP, el Router opera en el nivel 3. Lo que hace es unir dos redes de diferente configuración o estructura pero que trabajen con el mismo protocolo.

- **Gateway.**

Es una puerta de enlace con una red. Lo que hace es unir dos redes que puedan tener diferentes topologías, tipo (Ethernet, Token-Ring, Master/Slave, etc.) y protocolo (TCP/IP, NetBeui, IPX/SPX, Profibus, AS-i, etc.). Estas son máquinas de redes inteligentes y flexibles. La mayor parte de su operatividad esta implementada a nivel de software.

2.5.4. Enlaces ISM banda de 900 MHz.

Las bandas ISM (Industrial Scientific Medical) son bandas de radiofrecuencia electromagnética reservadas internacionalmente para uso no comercial en áreas de trabajo industriales, científicas y médicas. Estas bandas pueden utilizarse sin necesidad de licencia siempre que se respeten unos determinados límites de potencia.

Fueron definidas por la ITU (International Telecommunications Union) en el artículo 5 de las Regulaciones de Radio (RR 5.138, 5.150 y 5.280) y todo aparato que trabaje con ellas debe ser tolerante a errores y utilizar mecanismos de protección contra interferencias, como técnicas de ensanchado de espectro (RR 15.13). Por este motivo, las redes que funcionan en esta banda se les denominan redes de espectro ensanchado.

Algunos aparatos que usan la frecuencia de 2,4 GHz son los microondas, teléfonos inalámbricos, monitores de bebés, IEEE 802.15.1 (WPAN - Bluetooth) e IEEE 802.11 (WLAN). Además de utilizarse diferentes técnicas de espectro ensanchado, en función de la relación señal/ruido se puede utilizar una modulación (bits por símbolo) más o menos rica para alcanzar más velocidad, por lo que los aparatos realizan una negociación de velocidades. Según la zona geográfica, en la banda de los 2.4GHz se utilizan de 7 a 14 canales (13 en Europa). El ancho de banda de la señal (22MHz) es superior a la separación entre canales consecutivos (5MHz), por eso se hace necesaria una separación de al menos 5 canales con el fin de evitar interferencias entre celdas adyacentes. Tradicionalmente se utilizan los canales 1, 6 y 11 o los canales 1, 5, 9 y 13. **(ISM, 2012)**.

Las frecuencias en las que trabajan estos equipos dentro de los Estados Unidos, son usadas siete frecuencias asignadas por la Comisión Federal de Comunicaciones (FCC), estas son.

1. 1,7 MHz (Hasta 6 canales, Sistema AM)
2. 27 MHz (asignada en 1980, hasta 10 canales, Sistema FM)
3. 43–50 MHz (asignada en 1986, hasta 25 canales, Sistema FM)
4. 900 MHz (902–928 MHz) (asignada en 1990)
5. 1,9 GHz (1920-1930 MHz) (desarrollada en 1993 y asignada en Estados Unidos en octubre de 2005)
6. 2,4 GHz (asignada en 1998)
7. 5,8 GHz (asignada en 2003)

2.5.5. Comunicación y redes VPN.

Virtual Private Network (VPN) es un grupo de dos o más sistemas de ordenadores, generalmente conectados a una red corporativa privada, que se comunican "con seguridad" sobre una red pública.

Es decir, que para transmitir información a través de una red pública (insegura), en la VPN se aplican métodos de seguridad para garantizar la privacidad de los datos que se intercambian entre ambas, y protocolos de túneles. A las Redes Privadas Virtuales, se les considera "privadas" porque se establecen exclusivamente entre el emisor y el receptor de la información, y "virtuales", porque no se necesita un cable o cualquier otro medio físico directo entre los comunicantes.

Las VPN extienden la red corporativa de una empresa a las oficinas distantes, estaciones o sucursales, por ejemplo. En lugar de alquilar líneas dedicadas con un costo muy elevado, utilizan los servicios mundiales de IP, incluyendo la Internet. Usando una VPN, se crea una conexión privada segura a través de una red pública como Internet. Los usuarios remotos pueden hacer una llamada local a Internet, y no usar llamadas de larga distancia. (Trujillo, 2006). La Figura 35 muestra una conexión VPN típica entre redes privadas distantes.

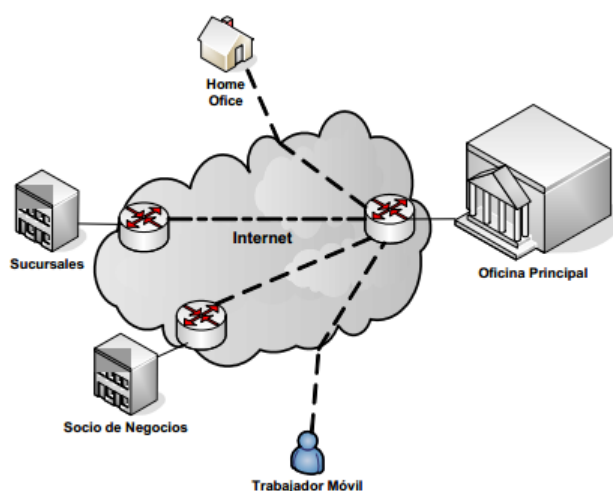


Figura 35: Diagrama de una VPN en una organización

Fuente: (Trujillo, 2006)

La VPN lo que hace es crear un túnel entre los dos puntos a conectar utilizando infraestructura pública, usa una técnica llamada Tunneling, los paquetes de datos son enrutados por la red pública, tal como Internet o alguna otra red comercial, en un túnel privado que simula una conexión punto a punto. Este recurso hace que por la misma red puedan crearse muchos enlaces por diferentes túneles virtuales a través de la misma infraestructura.

También hace universales para su transporte los diferentes protocolos LAN entre los que se encuentran IP, IPX, AppleTalk y NetBeui, de allí la característica de multiprotocolo que hace sumamente universal la tecnología de las redes virtuales privadas.

- **Requerimientos de una VPN. (Trujillo, 2006).**

Una Red Privada Virtual ha de proveer de los siguientes mecanismos básicos, aunque en ocasiones y situaciones puede obviarse algunos.

- Autenticación de usuarios, verificar la identidad de los usuarios, para poder restringir el acceso a la VPN solo a los usuarios autorizados.
- Administración de direcciones, debe asignar una dirección del cliente sobre la red privada, y asegurar que las direcciones privadas se mantienen privadas.
- Encriptación de datos, los datos que viajan por la red pública, deben ser transformados para que sean ilegibles para los usuarios no autorizados.
- Administración de claves, debe mantener un mantenimiento de claves de encriptación para los clientes y los servidores.
- Soporte multiprotocolo, ha de ser capaz de manejar protocolos comunes, usando las red pública, por ejemplo IPX, IP, etc.

- **Tipos de VPN. (Trujillo, 2006).**

- **Sistemas basados en Hardware:**

Los sistemas basados en hardware, son routers que encriptan. Son seguros y fáciles de usar, requieren de una configuración correcta, y listo. Ofrecen un gran rendimiento, porque no malgastan ciclos de procesador haciendo funcionar un Sistema Operativo. Es hardware dedicado, muy rápido y de fácil instalación. La implementación entre enrutadores provee la capacidad de asegurar un paquete en una parte de la red, esta seguridad se logra a través del Tunneling de paquetes.

- **Sistemas basados en Software:**

Estos sistemas son ideales para las situaciones donde los dos puntos de conexión de la VPN no están controlados por la misma organización, o cuando los diferentes cortafuegos o routers no son implementados por la misma organización. Este tipo de VPN ofrece el método más flexible en cuanto al manejo de tráfico. Con este tipo, el tráfico puede ser enviado a través de un túnel, en función de las direcciones o protocolos, en cambio en los VPN por hardware, todo el tráfico era enrutado por el túnel. Se puede hacer un enrutamiento inteligente de una manera mucho más fácil.

- **Sistemas basados en Firewall:**

Estos se implementan con software de cortafuegos (firewall). Tienen las ventajas de los mecanismos de seguridad que utilizan los cortafuegos, incluyendo el acceso restringido a la red interna. También realizan la traducción de direcciones (NAT). Estos satisfacen los requerimientos de autenticación fuerte. Muchos de los cortafuegos comerciales, aumentan la protección, quitando al núcleo del Sistema Operativo algunos servicios peligrosos que llevan estos por default, y les provee de medidas de seguridad adicionales, que son mucho más útiles para los servicios de VPN. El rendimiento en este tipo decrece, ya que no se tiene hardware especializado de encriptación.

- **Tunneling. (Trujillo, 2006).**

Es una técnica que usa una infraestructura entre redes para transferir datos de una red a otra. Los datos o la carga pueden ser transferidas como tramas de otro protocolo. El protocolo de Tunneling encapsula las tramas con una cabecera adicional, en vez de enviarla como la produjo en nodo original. La cabecera adicional proporciona información de routing para hacer capaz a la carga de atravesar la red intermedia. Las tramas encapsuladas son enrutadas a través de un túnel que tiene como puntos finales los dos puntos entre la red intermedia. El túnel es un camino lógico a través del cual se encapsulan paquetes viajando entre la red intermedia. Cuando un trama encapsulada llega a su destino en la red intermedia, se des encapsula y se envía a su destino final dentro de la red. Tunneling incluye todo el proceso de encapsulado, des encapsulado así como la transmisión de las tramas.

- **Protocolo VPN IPSEC. (Trujillo, 2006).**

IPSEC en realidad es un conjunto de estándares para integrar en IP, funciones de seguridad basadas en criptografía.

Proporciona confidencialidad, integridad y autenticidad de datagramas IP, combinando tecnologías de clave pública (RSA), algoritmos de cifrado (DES, 3DES, IDEA, BlowFish), algoritmos de hash (MD5, SHA-1) y certificados digitales X509v3.

El protocolo IPSEC ha sido diseñado de forma modular, de modo que se pueda seleccionar el conjunto de algoritmos deseados sin afectar a otras partes de la implementación. Han sido definidos, sin embargo, ciertos algoritmos estándar que deberán soportar todas las implementaciones para asegurar la interoperabilidad en el mundo global de Internet. Dichos algoritmos de referencia son DES y 3DES, para cifrado, así como MD5 y SHA-1, como funciones de hash. Además es perfectamente posible usar otros algoritmos que se consideren más seguros o más adecuados para un entorno específico: por ejemplo, como algoritmo de cifrado de clave simétrica IDEA, BlowFish

o el más reciente AES que se espera sea el más utilizado en un futuro próximo. Dentro de IPSEC se distinguen los siguientes componentes.

- Dos protocolos de seguridad: IP Authentication Header (AH) e IP Encapsulating Security Payload (ESP) que proporcionan mecanismos de seguridad para proteger tráfico IP.

- Un protocolo de gestión de claves Internet Key Exchange (IKE) que permite a dos nodos negociar las claves y todos los parámetros necesarios para establecer una conexión AH o ESP.

CAPITULO 3

INGENIERÍA CONCEPTUAL Y BASICA

3.1. Ingeniería conceptual para subsistema de instrumentación.

3.1.1. Requerimientos necesarios en el sistema de instrumentación.

Al ser el sistema encargado de tomar las medidas de cada variable debe ser el más confiable, por lo tanto se necesita que cada instrumento de medida maneja una precisión menor al $\pm 1\%$ de la señal sobre todo el rango de la medida y que los datos sean adquiridos de manera ininterrumpida. Además se toma como requerimiento que todos los instrumentos posean sus respectivas normas de protección y seguridad, según sea necesario, en su ubicación o la variable a ser medida. También es importante que los sensores manejen un indicador local debido a que si los operadores realizan diferentes trabajos en la tubería puedan visualizar directamente el valor de las variables en el proceso.

Es importante que estos sensores cuenten con una variedad de posibilidades en cuanto a la señal de respuesta, ya sea una señal analógica en voltaje, corriente o mediante comunicación digital. Es importante que el sistema de instrumentación cuente con la energía eléctrica necesaria para alimentación de los sensores y que estos puedan operar de manera correcta, por lo tanto es necesario contar con tomas de voltaje de 12 V DC, 24 V DC y 120 V AC.

Si los sensores tienen la capacidad de ser configurados o programados ayudaría de gran manera a que la adquisición de datos se realice de la manera más óptima es decir ajustando el rango de medida, cambiando la manera de respuesta a la necesaria, configurando diferentes parámetros existentes en la medida de una señal. Otra consideración importante es que las señales de los sensores puedan ser leídas o sean compatibles con equipos como registradores, controladores o pantallas.

3.1.2. Análisis de elementos de instrumentación existentes.

Los instrumentos y sensores presentes en los acueductos Caza Lagarto – El Colorado y El Ceibal – Azúa serán tratados de manera independiente y cada elemento con su acueducto respectivo.

- **Instrumentos y sensores presentes en el acueducto Caza Lagarto – El Colorado, estación de bombeo Caza Lagarto.**

Dentro de esta estación de bombeo existen varios manómetros los cuales son usados para indicar la presión de cada grupo de bombeo o de los tres grupos trabajando al mismo tiempo, es decir que se encuentran instalados cuatro manómetros indicadores de presión, de los cuales, los ubicados en los grupos de bombeo son solamente indicadores y su rango de medida va desde 0 a 600 PSI.

Mientras el manómetro que se encuentra midiendo el total de presión a la salida de la tubería de impulsión tiene un rango de medida de 0 a 600 PSI, además de ser un indicador, este instrumento posee un transductor de presión que puede medir la presión y tener un respuesta en una señal de corriente continua de 4 a 20 mA, donde la relación es lineal y el valor de 0 PSI corresponde al mínimo valor de corriente mientras que el valor de 600 PSI corresponde al máximo valor de corriente, el transductor tiene una precisión de $\pm 0.5\%$ sobre el rango de la señal, este sensor va incorporado al transductor de caudal marca Sparling que se detallara más adelante.

Conjuntamente con el sensor de presión ubicado al inicio de la línea de impulsión se encuentra el sensor de caudal marca Sparling, modelo FM656, este instrumento es del tipo electromagnético, y posee las siguientes características presentadas en la Tabla 1.

Tabla 1 Características del sensor de caudal FM656

Sensor Sparling FM656 Tigermag EP	
Precisión	± 0.5 % sobre todo el rango
Temperatura de trabajo	180 °F
Rango de Escala Completa	0-1200 LPS, Tubería 16"
Offset	-0.31
Electrodo	316 o 304 Acero Estándar.
Voltaje de operación	12-60 V DC.

Fuente: (Sparling, 2002).

Este transmisor maneja las siguientes señales de salida:

- i. Analógica aislada de 4-20 mA y una impedancia de 800 ohmios.
- ii. Pulso escalado de 24 V DC con tiempo escalable de 12.5/25/50/100 ms y una frecuencia de 60 Hz.
- iii. 0 – 1000 Hz para un rango de flujo de 0 – 100 % a 15 V DC.
- iv. Dos alarmas de flujo con relés de 10 A opcional.
- v. Falla y dirección de flujo con colector abierto.
- vi. Comunicación RS232 y RS485 opcional.

En la Figura 36 se muestra a los sensores de caudal y presión marca Sparling.



Figura 36 Sensores de presión y caudal Sparling, modelo FM656

Los motores usados en la estación de bombeo Caza Lagarto cuentan con su propio sensor de temperatura el cual es un RTD del tipo PT100, este posee su propia instrumentación emitiendo una señal de 4 a 20 mA trabajando en un rango de temperatura de 20 a 300 °C, siendo 200 °C el punto en el cual la bomba debe apagarse debido a que puede sufrir averías, la ubicación de este transductor de temperatura está por dentro del motor eléctrico cerca de sus devanados.

Estación de bombeo Río de Oro, al ser la estación más antigua y con menor cantidad de instrumentación simplemente posee los sensores de temperatura en las bombas, los cuales se encuentran fuera de funcionamiento pero en condiciones de servicio, mientras que los manómetros existentes muestran lecturas erróneas y otros no están en funcionamiento. Los sensores de temperatura son de tipo PT100, y estos tienen un rango de medida de 20 a 250 °C con una respuesta lineal de 4 a 20 mA y el punto crítico de temperatura es de 200 °C.

- **Instrumentos y sensores presentes en el acueducto El Ceibal – Azúa, estación de bombeo Caza Lagarto**

Esta estación de bombeo cuenta con manómetros indicadores de presión ubicados antes y después de cada grupo de bombeo, por lo tanto se tiene ocho manómetros en los cuatro grupos de bombeo, el rango de medida de estos instrumentos va desde 0 a 600 PSI, estos elementos no cuentan con ningún transductor simplemente son indicadores de la presión que se encuentra en los grupos de bombeo. Además la salida de la línea de impulsión se encuentra otro manómetro, que también es solo un indicador de presión y su rango de medida es de 0 a 600 PSI, este instrumento mide la presión total que se tiene en la línea de impulsión de esta estación de bombeo. En la Figura 37 se muestra uno de los indicadores de presión ubicados en un grupo de bombeo.



Figura 37 Manómetro ubicado a la salida de un grupo de bombeo, estación El Ceibal

Dentro de esta estación de bombeo existe un medidor de flujo ubicado a la salida de la línea de impulsión y fuera del cuarto de bombas, marca Siemens modelo SITRANS F US SONO 3100, trabaja bajo el principio de medidor ultrasónico y sus características se presentan en la Tabla 2.

Tabla 2 Características de medidor de caudal Siemens, SONO 3100

Sensor de caudal Siemens SONO 3100 STRANS F US SONOFLO	
Precisión	$\pm 0.5 \%$ sobre todo el rango
Temperatura de trabajo	-10 °C a 200 °C
Rango de Escala Completa	0 – 5000 m ³ /h, Tubería 32"
Máxima velocidad del fluido	10 m/s.
Electrodo	4 transductores SONO 3200
Voltaje de operación	24 V DC

Fuente: (SIEMENS, 2006)

Este transmisor maneja las siguientes señales de salida:

- i. Analógica aislada de 0-20 o 4-20 mA y una impedancia de 600 ohmios.
- ii. Señal de alarma en 3.6 mA, 22 mA o 24 mA.
- iii. Señales activas a 24 V DC y < 24 mA, pasivas colector abierto, 30 V DC y < 200 mA.
- iv. Pulso configurable a pasivas o activas con 5000 pulsos/s, ancho < 0.1 ms, y frecuencia de respuesta por arriba de 10 KHz.
- v. Relé con 5 W de capacidad y 50 V máximo.
- vi. Comunicación vía salida analógica, comunicación HART 4...20 mA.

En la Figura 38 se muestra la instalación del medidor de caudal SONO 3100 de Siemens.



Figura 38 Sensor de caudal Siemens SONO 3100

Para los grupos de bombeo dentro de los motores existen transductores de temperatura acoplados a los devanados de los mismos, estos transductores son RTD de tipo PT100, los cuales poseen un rango de medida de entre 20 y 250 °C y la respuesta del sensor es del tipo analógica y de corriente de 4 a 20 mA, siendo 155 °C el punto crítico en donde se debe apagar los motores de manera automática.

3.1.3. Viabilidad y disponibilidad técnica para el sistema de Instrumentación.

- **Viabilidad Técnica.**

Para el sistema de instrumentación claramente se identifica que es viable debido a que la complejidad para medir este tipo de magnitudes no es alta, además de que estas tecnologías de medición se las maneja en la industria desde hace décadas, y los fabricantes desarrollan productos que facilitan tanto la adquisición de los datos como la transmisión de los mismos.

Es importante saber que cada instrumento sin importar su fabricante maneja señales de respuesta estándares y que pueden ser interpretadas por cualquier tipo de controlador, por lo tanto no es problema integrar diferentes marcas en el mismo sistema de instrumentación lo que ayudaría mucho a mantener los medidores actualmente instalados y que se encuentran en funcionamiento con el objetivo de que no represente mayor costo económico.

Se establece que se necesita que los equipos posean normas de protección certificadas lo cual es viable en todos los fabricantes y la mayoría cumple con este requisito. Al necesitar que los elementos sean precisos y su medida confiable se puede destacar que la gran mayoría de fabricantes han desarrollado instrumentos con esta capacidad.

Se puede encontrar algún grado de complejidad para la instalación de los sensores de caudal debido a que se necesita de personal capacitado para manejar estas tuberías de

grandes diámetros, ya que es un trabajo bastante pesado. Además es importante que los operadores de la planta tengan conocimiento de cómo interpretar las variables que son medidas por los sensores para poder aplicar una correcta operación.

Para asegurar la transmisión del transductor es importante contar con cables que aseguren este proceso evitando cualquier caída de señal, lo cual es totalmente viable. Por lo tanto se puede enfocar la viabilidad técnica en los siguientes puntos.

- i. Compatibilidad entre las marcas usadas, posibilidad de integración.
- ii. Confiabilidad y precisión en los instrumentos.
- iii. Normas y certificaciones de seguridad para los elementos.
- iv. Conocimiento y capacidad del personal operador.

- **Disponibilidad Técnica.**

Dentro de este punto se puede establecer que todos los instrumentos y elementos necesarios para este sistema de instrumentación están disponibles en el mercado ya sea a nivel nacional o internacional, existen varias marcas que cumplen con los puntos tratados en la viabilidad técnica, por lo tanto la disponibilidad es relativamente alta en ese sentido. Este sistema representa un alto costo, y se debe analizar que marca es más conveniente, o si importar los equipos del exterior es mejor que comprar localmente. Es de gran ayuda que en el mercado existan equipos que pueden trabajar conjuntamente sin importar su fabricante ya que cada uno maneja señales estándares para instrumentación y lectura de las señales adquiridas.

3.1.4. Señales y variables a ser medidas.

Las magnitudes físicas que estará encargado de medir el sistema de instrumentación son Caudal, Presión, Nivel y Temperatura. A continuación se describirá donde se debe tomar la medida y cuál va a ser su rango.

- **Señales y variables presentes en el acueducto Caza Lagarto - El Colorado.**

- **Estación Caza Lagarto.**

Medida de caudal: es necesario conocer el valor del caudal que se está impulsando desde la estación de bombeo, un dato tomado durante el levantamiento de información es que se bombea 260 LPS medido por el sensor de caudal Sparling mientras trabajaban dos de los tres grupos de bombeo existentes. El sensor presente tiene un rango de medida de 0 a 1200 LPS, y la ubicación de este es al inicio de la línea de impulsión. Cada bomba tiene la capacidad de impulsar un máximo caudal de 158 LPS.

Medida de Presión: es importante adquirir datos de esta magnitud en los siguientes puntos, salida de cada grupo de bombeo, mediante manómetros indicadores de presión, mientras que el dato más importante es el de la presión a la salida de la estación de bombeo, en este punto se necesita tener un transductor de presión que interprete esta medida y la pueda transmitir hacia el controlador. El rango de medida para el medidor principal es de 0 – 600 PSI, el dato de presión tomado con dos grupos de bombeo trabajando al mismo tiempo es 300 PSI en la salida de la estación. El rango de medida para los indicadores de presión en cada uno de los grupos de bombeo debe ser de 0 – 600 PSI.

Medida de temperatura: como se indicó la medición de la temperatura se realiza directamente en el motor eléctrico y el transductor tiene una respuesta para el rango de medida de entre 20 y 300 °C, el conocimiento de esta variable es para protección del motor y evitar sobre calentamiento.

Medida de nivel en el reservorio: en este caso la medición no es crítica, debido a que el agua que ingresa es de una represa y el nivel nunca está por debajo del deseado o del necesario para arrancar la bomba, solamente se debe contar con un interruptor de nivel ubicado a 0.6 m del fondo para evitar que las bombas operen en falta de nivel de agua, lo que causaría averías. El resumen de estas variables se muestra en la Tabla 3.

Tabla 3 Magnitudes y rango de medida en la estación Caza Lagarto

Variable	Rango
Caudal	0 a 1200 LPS
Presión	0 a 600 PSI
Nivel	0 a 5 m
Temperatura	20 a 300 °C

– **Tanque del Cerro Mococho.**

Para que el sistema sea capaz de detectar fugas en la conducción se debe cumplir con la siguiente ecuación de continuidad, Considerando dos secciones s_1 y s_2 en una tubería por la que circula un líquido a velocidades v_1 y v_2 , respectivamente.

Si en el tramo de conducción comprendido entre ambas secciones no existen aportes ni consumos, la cantidad del líquido que atraviesa la sección s_1 en la unidad de tiempo (caudal másico) debe ser igual a la que atraviesa s_2 , en la Figura 39 se muestra cuáles son las variables que intervienen en la ecuación de continuidad.

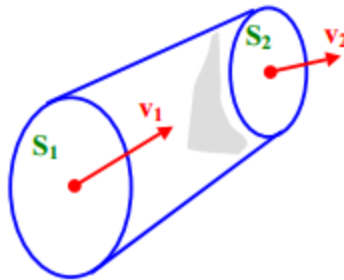


Figura 39: Elementos de la ecuación de continuidad

Como: $m = \rho * volumen = \rho * s * L = \rho * s * v * t$, en unidad de tiempo.

$$m_1 = m_2 = Q_{masico} = \rho_1 * s_1 * v_1 = \rho_2 * s_2 * v_2 = constante.$$

Siendo m : masa, ρ : densidad, s : sección de la tubería, v : velocidad del líquido, t : tiempo de medida.

El líquido a tratar es agua, de compresibilidad despreciable en las condiciones normales de trabajo para redes de distribución, por lo que las densidades $\rho_1 = \rho_2$.

Entonces $S_1 * V_1 = S_2 * V_2 = Q$ volumétrico = constante. El caudal volumétrico a lo largo de una conducción, sin aportes ni consumos, es constante.

Partiendo de la ecuación de la continuidad para detectar fugas en un tramo de la conducción se debe evaluar el caudal volumétrico entre dos puntos el cual debe ser constante. Entonces se debe contar con un medidor de caudal a la salida del tanque del cerro Mocochal, el cual debe tener un rango de medida de 0 – 1000 LPS en una tubería de 500 mm de diámetro.

Nivel del tanque: este tanque tiene una capacidad de 1000 m³ y una altura de 5 m, es importante conocer los valores de esta magnitud de manera continua, haciendo énfasis en los niveles críticos de 0.6 m y 4.6 m para realizar acciones de control y no existan derrames o falta de agua que impida continuar con la conducción. Por lo tanto la variable nivel será medida en el rango de 0 a 5 m.

Las variables y magnitudes presentes en Mocochal son, Nivel: de 0 a 5 m y Caudal: de 0 a 1000 LPS.

– Estación de Bombeo Río de Oro.

Es importante conocer el valor del caudal impulsado por la estación, pero esta no cuenta con un medidor en sus instalaciones capaz para evaluar esta magnitud, por lo tanto es necesario contar con uno de estos elementos. Se posee dos bombas, cada una con capacidad de impulsar un máximo caudal de 193 LPS, por lo que el medidor de caudal debe tener un rango de lectura mínimo de 0 a 1000 LPS en una tubería de 600 mm de diámetro.

Medida de presión: se desea contar con el dato de presión existente en cada grupo de bombeo, para este punto se debe contar manómetros indicadores de presión teniendo conocimiento de la presión en cada bomba, el rango de medida de estos manómetros debe ser de 0 – 600 PSI. Con el fin de adquirir datos sobre la presión de trabajo en la estación de bombeo se debe contar con un medidor transductor de presión ubicado en la salida de la línea impulsión, es decir conjuntamente con el sensor de caudal, el rango de medida para este instrumento debe ser de 0 – 600 PSI.

Dentro de la estación de bombeo existe un tanque de almacenamiento con capacidad para 1000 m³, que es del cual las bombas toman el agua para ser impulsada, por lo tanto, contar con la medida de nivel continuo en este punto ayudaría a la operación de las bombas, el rango de medida para esta variable debe ser de 0 – 5 m, al tener conocimiento del nivel del tanque se puede decidir si la bomba puede arrancar o no evitando así averías por falta de líquido, los niveles críticos son 0.6 m y 4.6 m.

Al igual que en la anterior estación de bombeo cada motor posee un transductor de temperatura ubicado en sus devanados y es un RTD de tipo PT100, posee un rango de medida de 20 a 250 °C emitiendo una respuesta de corriente de 4 a 20 mA. Teniendo el punto crítico en 200 °C para que la bomba pare su operación. Las variables y su rango de medida se muestran en la Tabla 4.

Tabla 4 Variable y rango de medida para la estación Río de Oro

Variable	Rango
Caudal	0 a 1000 LPS
Presión	0 a 600 PSI
Nivel	0 a 5 m
Temperatura	20 a 250 °C

- **Acueducto El Ceibal – Azúa.**

– **Estación de bombeo El Ceibal.**

Medición de caudal: existe un medidor de esta variable ubicado ya en la línea de impulsión, cada bomba tiene la capacidad de impulsar 193 LPS, al existir cuatro grupos

de bombeo el rango de medida de este instrumento es de 0 – 5000 m³/h. Al momento de realizar el levantamiento de la información se visualizó en un registrador de caudal que se estaba impulsando 2595 m³/h o 720 LPS. Este sensor es de la marca Siemens y su principio de trabajo es ultrasonido.

Medida de presión: dentro de la estación existen cuatro grupos de bombeo y cada uno de estos cuentan con manómetros indicadores de presión ubicados antes y después de la bomba, los cuales poseen un rango de medida de 0 a 600 PSI, mientras que se necesita un transductor de presión a la salida de la línea de impulsión que pueda medir un rango de presión de 0 a 600 PSI y convertirla a una señal eléctrica.

Medida de nivel: existe el tanque de planta que almacena agua potable con una capacidad de 5000 m³, la altura de este tanque es de 5 m, y sus niveles críticos son 0.6 m y 4.6 m en los cuales las bombas pueden trabajar, por lo que es importante contar un medidor de nivel continuo que posea un rango de medida de 0 a 5 m.

Medida de temperatura: cada motor eléctrico posee un transductor de temperatura con un rango de medida entre 20 y 250 °C, con un punto crítico de 155 °C, el transductor se encuentra en los devanados del motor y es un RTD del tipo PT100. La señal de este sensor es de 4 a 20 mA. La Tabla 3.5 muestra las variables y sus rangos de medida.

Tabla 5 Variables y rangos de medida en estación El Ceibal

Variable	Rango
Caudal	0 a 1400 LPS
Presión	0 a 600 PSI
Nivel	0 a 5 m
Temperatura	20 a 250 °C

– **Tanque cruz verde.**

Para detectar las fugas en este tramo de la conducción según la ecuación de la conductividad es importante conocer el caudal que sale desde este tanque, entonces es

necesario contar con un medidor de caudal a la salida del tanque con un rango de medida de 0 a 1400 LPS en una tubería de 800 mm de diámetro.

Este tanque tiene una capacidad de almacenamiento de 5000 m³ y una altura de 5 m, por lo tanto es importante monitorear el nivel continuo de este tanque para evitar que exista falta del líquido o exceda y se derrame por lo tanto se establece puntos críticos en 0.6 m y 4.6 m.

Las variables y magnitudes presentes en Cruz Verde son, Nivel: de 0 a 5 m y Caudal: de 0 a 1400 LPS.

– **Tanque intermedio.**

Este tanque es idéntico al del cerro cruz verde, con la diferencia que se debe evaluar el caudal tanto a la entrada como a la salida para monitorear fugas en todo la conducción, el rango de medida es de 0 a 1400 LPS, los sensores deben ir en una tubería de 800 mm de diámetro. Su capacidad es de 5000 m³ y una altura de 5m, entonces de igual manera se debe monitorear el nivel del tanque teniendo como puntos críticos a 0.6 m y 4.6 m.

Las variables y magnitudes presentes en Intermedio son, Nivel: de 0 a 5 m y Caudal: de 0 a 1400 LPS.

– **Estación de distribución Azúa.**

Este es el punto final de la conducción, por lo tanto también se debe monitorear el caudal que llega a este lugar y poder detectar fugas en el último tramo. El rango a medir debe ser de 0 a 1400 LPS, con un sensor a la entrada de la estación en una tubería de 800 mm de diámetro.

3.1.5. Esquema de ubicación para cada elemento de medida.

- **Esquema de ubicación de instrumentos en la estación de bombeo Caza Lagarto.**

Como se indicó en los apartados anteriores, la Figura 40 muestra la ubicación de los sensores necesarios para medir caudal, presión, nivel y temperatura en esta estación de bombeo. Los instrumentos de presión están ubicados a la salida de cada bomba, mientras que existe un transductor de presión ubicado a la salida de la estación que medirá la presión en la línea de impulsión.

Para la medición de caudal existe un sensor ubicado al final de la estación de bombeo o al inicio de la línea de impulsión, este debe tener un diámetro de 400 mm.

Los medidores de temperatura existentes se encuentran en los devanados del motor, mientras que para determinar el nivel mínimo necesario en el reservorio se debe contar un interruptor de nivel ubicado a 0.6 m del fondo.

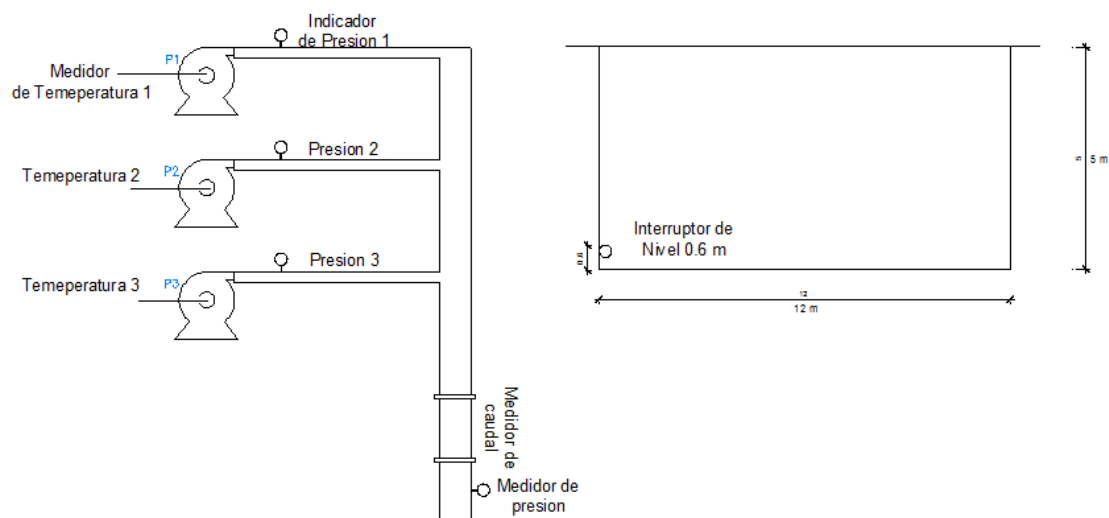


Figura 40 Esquema de ubicación de los sensores en la estación de bombeo Caza Lagarto

- **Esquema de ubicación de instrumentos en la estación de bombeo Río de Oro.**

La Figura 41 muestra la ubicación de los sensores necesarios para medir caudal, presión, nivel y temperatura en esta estación de bombeo. Los indicadores de presión deben ir ubicados a la salida de cada bomba, mientras que a la salida de la estación debe existir un transductor que medirá la presión en la línea de impulsión. Para la medición de caudal se debe contar con un sensor ubicado al final de la estación de bombeo o al inicio de la línea de impulsión, este debe tener un diámetro de 600 mm. Los medidores de temperatura existentes se encuentran en los devanados del motor, mientras que para determinar el nivel existente en el reservorio, se debe contar con un medidor en la parte superior del tanque capaz de captar toda la medida desde 0 hasta 5 metros.

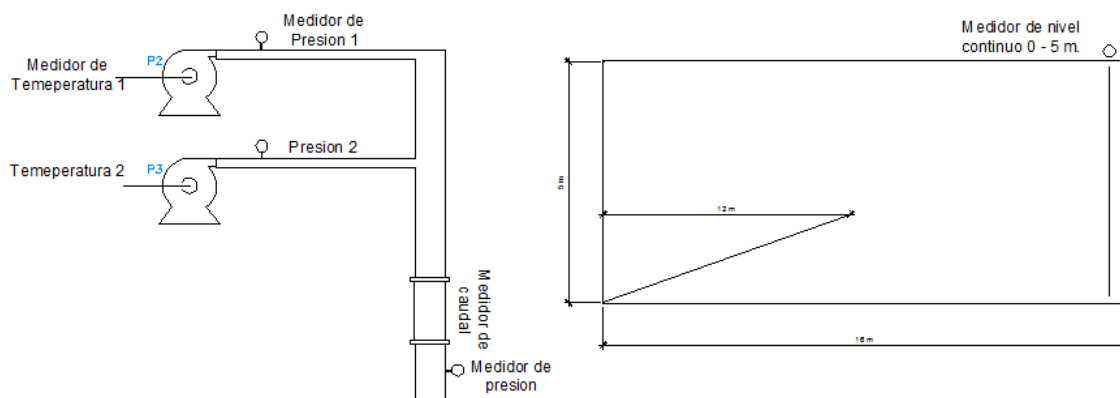


Figura 41 Esquema de ubicación de los sensores en la estación de bombeo Río de Oro

- **Estación de bombeo El Ceibal.**

La Figura 42 muestra la ubicación de los sensores necesarios para medir caudal, presión, nivel y temperatura en esta estación de bombeo. Los instrumentos de presión están ubicados a la salida de cada bomba, mientras que se debe contar con un transductor de presión ubicado a la salida de la estación que medirá la presión en la línea de impulsión.

Para la medición de caudal existe un sensor ubicado al final de la estación de bombeo o al inicio de la línea de impulsión, este debe tener un diámetro de 800 mm. Los medidores de temperatura existentes se encuentran en los devanados del motor, mientras que para determinar el nivel existente en el reservorio, se debe contar con un medidor en la parte superior del tanque capaz de captar toda la medida desde 0 hasta 5 metros.

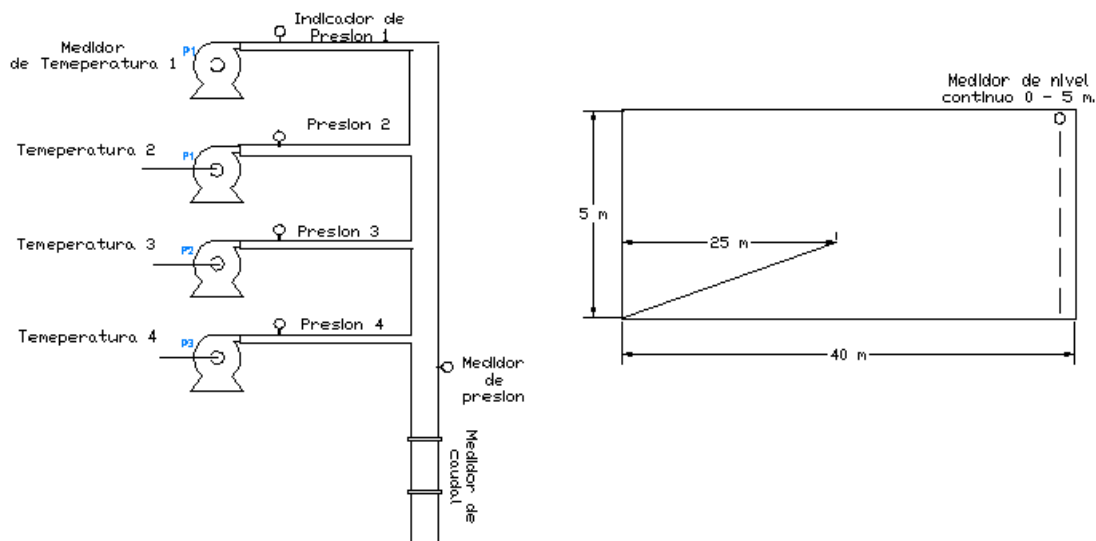


Figura 42 Esquema de ubicación de sensores en la estación El Ceibal

3.2. Ingeniería conceptual para subsistema de control.

3.2.1. Requerimientos necesarios dentro del sistema de control.

Este sistema será el encargado de operar y controlar de manera automática o manual todos los elementos y procesos existentes en los acueductos, por lo que debe ser capaz de monitorear el valor de los sensores de manera ininterrumpida y según su lectura realizar acciones de control establecidas, con el objetivo de optimizar el proceso de conducción del agua.

Los controladores deben poseer diversos recursos como capacidad de interpretar varios tipos de señales analógicas y discretas las cuales proviene del sistema de instrumentación, lograr integrarse con instrumentos y equipos de diferentes fabricantes. Capacidad de manejar comunicación entre controladores mediante Ethernet IP del tipo industrial, logrando de esta manera integrar todos los procesos existentes en la línea de conducción.

Los controladores deben manejar todo tipo de señal eléctrica tanto en corriente y voltaje para su respuesta con el objetivo de poder trabajar con actuadores de otros fabricantes y controlar los diferentes procesos manteniendo en operación los equipos actualmente existentes.

Cada uno de estos controladores debe tener su respectivo grado y normas de protección que aseguren la operación de estos en las condiciones normales de un sistema de conducción de agua como son fuertes vibraciones, temperaturas relativamente altas y hasta posibles fugas de agua. Dentro de este sistema se consideran actuadores a elementos como bombas siendo el elemento final de control. Los equipos usados para arrancar motores eléctricos como arrancadores suaves o variadores de frecuencia se consideran como parte del sistema de control.

3.2.2. Análisis de elementos de control y actuadores existentes.

- **Elementos de control existentes en acueducto Caza Lagarto – El Colorado.**
- **Elementos de control existentes en estación de bombeo Caza Lagarto.**

A la salida de cada uno de los grupos de bombeo existe una válvula de mariposa la cual es usada para regular el caudal existente en cada uno estos, existen tres válvulas dentro de la estación, el control de estos elementos es manual y su montaje es en una tubería de 200 mm de diámetro y se lo muestra en la Figura 43.



Figura 43 Válvula de mariposa usada para el control de caudal

Conjunto Motor – Bomba, la estación posee tres grupos de bombeo que se detallaran de manera separada.

- i. Motor US MOTORS 5811 Frame TITAN, motor trifásico vertical de tensión media, con grado de protección IP 23 y eficiencia NEMA del 94.1 %. La Tabla 6 muestra las características de trabajo de este motor.

Tabla 6 Características de operación del motor US MOTORS 5811

MOTOR US MOTORS / FR 5811	
Potencia	600 HP / 441.3 KW
Velocidad Nominal	1790 rpm
Tensión de trabajo	2300 V
Frecuencia	60 Hz
Cos ϕ / Factor de Potencia	0.89

- ii. Bomba Flow Serve Pump Division, PVML – Mag 685, bomba vertical de operación en línea, cuyas características son altura máxima o TDH de 235 m, velocidad de 1790 RPM y caudal máximo de trabajo 2377 GPM o 158 LPS.

El arranque de los motores se realiza mediante un arrancador suave de la marca ABB tipo SSM usado en motores trifásicos de tensión media desde 2300 V a 13800 V y de 200 HP a 750 HP. Según las características del motor usado, se cuenta con un ABB SoftStarter

SSM para 2300 V y 600 HP, las características de este elemento se muestran en la Tabla 7.

Tabla 7 Características de ABB SoftStarter SSM 2300 V / 600 HP

ABB SOFTSTARTER SSM 2300 V / 600 HP	
Corrientes de operación.	200 a 400 A
Voltaje de operación.	2300 V
Seccionador de bypass.	13.8 KV y 600 A
Temperatura de operación	0 a 50 °C
Comunicación	RS232 – RS485
Tiempo de Aceleración.	1 – 120 segundos
Tiempo de Desaceleración	1 – 60 segundos
Voltaje Inicial	0 – 100 % del voltaje nominal
Corriente Inicial, Configurable	0 – 600 % del valor nominal.
Frecuencia	50 – 60 Hz

Fuente: (ABB, 2003)

– **Estación de bombeo Río de Oro.**

La estación posee dos grupos de bombeo bomba-motor, y para controlar el caudal de impulsión existe una válvula mariposa en cada grupo, instaladas en una tubería de 600 mm de diámetro, su operación es manual y se muestra en la Figura 44.

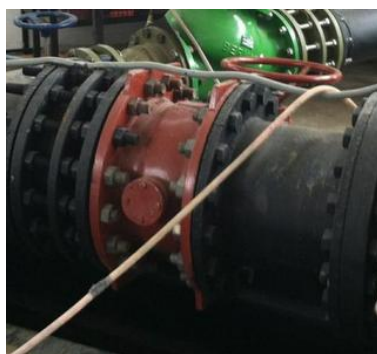


Figura 44 Válvula mariposa para control de caudal, 600 mm

Los grupos de bombeo poseen las siguientes características de operación, se presentan de manera independiente motor - bomba.

- i. Motor US MOTORS 5870 TITAN LINE, motor trifásico horizontal de baja tensión, con grado de protección IP 23 y eficiencia NEMA del 91.3 %. La Tabla 8 muestra las características de trabajo de este motor.

Tabla 8 Características de trabajo del motor US MOTORS 5870 Titan Line

MOTOR US MOTORS / 5870 S TITAN	
Potencia	600 HP / 441.3 KW
Velocidad Nominal	1775 rpm
Tensión de trabajo	440 V
Frecuencia	60 Hz
Cos ϕ / Factor de Potencia	0.92

- ii. Bomba Worthington, bomba horizontal cuyas características son altura máxima o TDH de 150 m, velocidad de 1775 RPM y caudal máximo de trabajo 2893 GPM o 193 LPS.

El arranque y control de los motores se realiza mediante un variador de frecuencia de la marca Schneider modelo Altivar 61, que son variadores de frecuencia para motores trifásicos de baja tensión, 380...480 V, con grado de protección IP 20 y potencia de trabajo 600 HP. Las características de este elemento se muestran en la Tabla 9.

Tabla 9. Características de operación del variador de frecuencia Schneider Altivar 61

SCHNEIDER ALTIVAR 61 ATV61 / 380..480V / 600 HP – 400 KW / 3~	
Corriente de trabajo	600 a 700 A
Voltaje de operación.	380 V – 480 V
Máxima Corriente Isc	50 KA – 3 ~
Temperatura de operación	-10 a 50 °C
Comunicación	Ethernet/IP – Profibus – DeviceNet
Máxima corriente transitoria	910.8 A por 60 s – 3~
Frecuencia de salida	0.1 a 500 Hz
Corriente de salida continua	759 A a 2.5 kHz, 460 V, 3~
Frecuencia de alimentación.	47.5 – 63 Hz

Fuente: (Schneider, 2009).

- **Acueducto El Ceibal – Azúa.**

- **Estación de bombeo El Ceibal.**

La estación tiene cuatro grupos de bombeo, bomba-motor, y para controlar el caudal de impulsión existe una válvula mariposa en cada grupo, instaladas en una tubería de 400 mm de diámetro, su operación es manual y se muestra en la Figura 45.



Figura 45. Válvula mariposa para control de caudal, 400 mm

Los grupos de bombeo están compuestos por motor - bomba y sus características de operación se presentan de manera independiente.

- Motor ABB AC MACHINE 77430, motor trifásico horizontal de media tensión, con grado de protección IP 23 y eficiencia NEMA del 92.3 %. La Tabla 10 muestra las características de trabajo de este motor.

Tabla 10 Características de operación del motor ABB AC MACHINE 77430

MOTOR ABB AC MACHINE 77430	
Potencia	940 HP / 700 KW
Velocidad Nominal	1786 rpm
Tensión de trabajo	6800 V
Frecuencia	60 Hz
Cos ϕ / Factor de Potencia	0.89

- ii. Bomba Worthington, bomba horizontal cuyas características son altura máxima o TDH de 150 m, velocidad de 1775 RPM y caudal máximo de trabajo 2893 GPM o 193 LPS.

3.2.3. Viabilidad y disponibilidad técnica para el sistema de control.

- **Viabilidad Técnica.**

El sistema de control para la conducción de aguas es viable en todo sentido, debido a que la mayoría de los controladores existentes en la actualidad son capaces de leer e interpretar cualquier tipo de señal eléctrica o de comunicación digital proveniente de un controlador o de un sensor. Además de poder controlar un sinnúmero de variables usando el actuador adecuado ya que pueden manejar varios lazos de control simultáneamente, los controladores actuales poseen interfaces tanto analógicas como digitales que permiten interactuar con elementos exteriores.

La capacidad de integración entre controladores es suficiente para llevar a cabo la comunicación entre las estaciones y mantener un control en toda la línea de conducción evitando derrames o fugas tanto en la tubería como en las unidades de almacenamiento. Otro punto importante es la capacidad de comunicarse con diversos programas para monitoreo o supervisión de los procesos como son los programas para desarrollar la interfaz humano – máquina, sin importar el fabricante.

Controlar el arranque o la velocidad de motores trifásicos ya sean de baja o media tensión es viable en la actualidad mediante equipos como arrancadores suaves o variadores de frecuencia, los cuales mediante configuración de los mismos se puede controlar un motor de diversas formas con el objetivo de que el bombeo sea lo más óptimo posible y protegiendo cada uno de los motores.

El control de caudal es viable mediante el uso de válvulas que permitan regular el flujo impulsado por las bombas como las válvulas mariposas, que pueden ser accionadas

de manera manual, eléctrica o hidráulica. Por lo tanto se mide la viabilidad técnica para este sistema en los siguientes puntos.

- i. Compatibilidad con sensores, actuadores y software de HMI de diferentes marcas.
- ii. Capacidad de controlar y arrancar motores trifásicos de media y baja tensión.
- iii. Control de caudal mediante diferentes válvulas con diversos accionamientos.
- iv. Comunicación mediante red Ethernet IP entre los controladores de las estaciones.
- v. Capacidad de manejar diferentes lazos y acciones de control.
- vi. Seguridad, protección y confiabilidad durante la operación.
- vii. Interfaces mediante señales analógicas y discretas.

- **Disponibilidad Técnica.**

Según lo expuesto por la viabilidad técnica, los equipos existentes en las estaciones de bombeo y necesarios para este sistema, tienen un grado relativamente alto de disponibilidad en el mercado ya que se encuentran ofertados por diversos fabricantes a nivel nacional o internacional.

Los equipos existentes en el mercado cumplen con todos los puntos tratados en la viabilidad y sobre todo la capacidad de integrarse con diferentes marcas tanto con el sistema de instrumentación como con el sistema de monitoreo o comunicación.

Es decir cada fabricante ofrece diversas ventajas o características que pueden mejorar el desempeño del sistema siempre manejando señales o comunicaciones estándares de la industria.

3.2.4. Elementos y variables a ser controladas.

- **Elementos y variables a ser controladas en el acueducto Caza Lagarto – El colorado.**
- **Estación de bombeo Caza Lagarto.**

Control de nivel: para esta variable no se puede ejercer ningún tipo de control directo, ya que el agua para la impulsión de las bombas proviene de un Río represado. Lo que se debe conocer es que si el nivel de la represa desciende a menos de 0.6 m los motores no puedan operar. El control del arranque de los motores debe depender del nivel del líquido de la represa.

Control de temperatura: la temperatura en los motores no se controlara de manera directa, se medirá esta variable para establecer cuando la temperatura del motor supere los 200 °C este pare su operación hasta que la temperatura descienda a 80 °C y entre en operación de manera automática.

Se controlará el arranque de cada motor de la siguiente manera, primeramente para arrancar cualquier motor se debe evaluar el estado de las variables temperatura y nivel, si los valores son los correctos se puede entrar en el proceso de arranque. Para el arranque de los motores se usara arrancadores suaves los cuales ya se encuentran operando en la estación y trabajan con los motores asíncronos de la siguiente manera, se realiza una subida progresiva de la tensión, lo que posibilita un arranque sin sacudidas y reduce la punta de corriente. La subida progresiva de la tensión de salida puede controlarse por medio de la rampa de aceleración que en el caso de estos arrancadores va desde 0 a 120 segundos, o también puede depender del valor de la corriente de limitación, o a su vez vincular ambos parámetros. Básicamente estos equipos serán usados para parar o arrancar de manera controlada los motores de la estación, garantizando el:

- i. Control de las variables de operación, principalmente durante los periodos de arranque y parada.
- ii. Protección térmica del motor y arrancador.
- iii. Protección mecánica de la maquina accionada en este caso la bomba, mediante la supresión de sacudidas por el par y reducción de la corriente solicitada.

El proceso de arranque para los motores debe ser que luego de verificar las variables nivel y temperatura se arrancara el primero con un tiempo de aceleración de 20 segundos, luego de 10 segundos más el segundo motor inicia su operación con la misma rampa de aceleración que el motor anterior.

Es importante destacar que los tres motores presentes no operan simultáneamente, siempre se mantiene el tercero como emergencia o reemplazo de alguno de los otros.

– Estación de bombeo Río de oro.

Control de nivel: el tanque presente en la estación tiene una altura de 5 m, y se establece como puntos críticos de nivel a 0.6 m y 4.6 m, en los cuales para el nivel mínimo los motores no pueden operar, y para el nivel superior o casos de derrame es necesario interrumpir el bombeo desde la estación Caza Lagarto.

Control de temperatura: la temperatura en los motores no se controlara de manera directa, se medirá esta variable para establecer cuando la temperatura del motor supere los 200 °C, en este caso se para su operación hasta que la temperatura descienda a 80 °C y nuevamente entre en operación de manera automática.

Control de caudal: el arranque de los motores son mediante variadores de frecuencia, los cuales sirven para controlar la velocidad del motor, el control de caudal se lo realiza mediante la calibración de este equipo, siempre se desea que se bombee el máximo caudal posible pero si los operadores los requieren se puede controlar el caudal impulsado hasta llegar al punto deseado monitoreando esta variable en un interfaz gráfica.

El control de arranque de los motores se lo realiza con un variador de frecuencia, el principio de rampa de aceleración es el mismo que en los arrancadores suaves, y su tiempo es de 20 segundos, en este caso existen dos motores en la estación y solamente trabaja uno a la vez, se puede escoger cualquiera de las dos.

– **Control de fugas en la tubería de conducción Caza Lagarto – El Colorado.**

Como se indicó en el apartado del sistema de instrumentación, en una tubería del mismo diámetro a lo largo de la misma, sin aportes ni consumos el caudal es el mismo en dos puntos diferentes de la tubería, por lo tanto para controlar fugas en las tuberías se debe monitorear el caudal en los siguientes tramos.

Cerro Mocochal – Loma Blanca, este tramo de la conducción tiene una longitud de 21.87 Km, en una tubería de 500 mm de diámetro transportando un caudal máximo de 300 LPS y una velocidad nominal de 1.48 m/s, por lo tanto los medidores de caudal deben ir ubicados en la salida del tanque en el cerro Mocochal y al ingreso de la interconexión en Loma Blanca, los dos sensores deben ser para 500 mm de diámetro y poseer un rango de lectura de 0 a 1000 LPS cumpliendo con los requerimientos tratados en el sistema de instrumentación.

Loma Blanca – Río de Oro, este tramo de la conducción tiene una longitud de 12.58 Km, en una tubería de 600 mm de diámetro transportando un caudal máximo de 300 LPS y una velocidad nominal de 1.03 m/s, por lo tanto los medidores de caudal deben ir ubicados en la interconexión Loma Blanca y al ingreso de la estación de bombeo Río de Oro, los dos sensores deben ser para 600 mm de diámetro y poseer un rango de lectura de 0 a 1000 LPS.

Las Palmas - El Colorado, este tramo de la conducción tiene una longitud de 13.1 Km, en una tubería de 450 mm de diámetro transportando un caudal máximo de 300 LPS y una velocidad nominal de 2.31 m/s, por lo tanto los medidores de caudal deben ir ubicados en la interconexión Las Palmas y al ingreso de la estación de potabilización El

Colorado, los dos sensores deben ser para 450 mm de diámetro y poseer un rango de lectura de 0 a 1000 LPS.

El Objetivo de evaluar el caudal en cada uno de los tramos es determinar si existe una fuga, al existir una caída de flujo entre el punto de salida y el de llegada se considera fuga, si sucede este caso se debe parar de manera automática las bombas respectivas para cada tramo y cerrar las válvulas de descarga de los tanques existentes en la conducción.

- **Elementos y variables a ser controladas en acueducto El Ceibal - Azúa.**

Control de nivel: el tanque presente en la estación tiene una altura de 5 m, y se establece como puntos críticos de nivel a 0.6 m y 4.6 m, en los cuales para el nivel mínimo los motores no pueden operar, y para el nivel superior o casos de derrame es necesario cerrar la válvula de ingreso a la estación proveniente de la captación.

Control de temperatura: la temperatura en los motores no se controlara de manera directa, se medirá esta variable para establecer cuando la temperatura del motor supere los 155 °C, en este caso se para su operación hasta que la temperatura descienda a 70 °C y nuevamente entre en operación de manera automática. El control de arranque de los motores se lo realizara mediante arrancadores suaves para aprovechar todos los beneficios mencionados en el arranque de la estación Caza Lagarto, al ser cuatro motores es importante arrancar uno a la vez, primeramente todos los motores tendrán un tiempo de aceleración de 20 segundos, y luego de que un motor llega a estabilizarse se debe esperar diez segundos para que el siguiente entre en operación, es importante siempre tener un motor en espera o fuera de funcionamiento por casos de emergencia.

- **Control de fugas en la tubería de conducción Caza Lagarto – El Colorado.**

De la misma manera que se trató el acueducto anterior se debe tratar este, y los tramos de conducción son:

Tanque Cruz Verde – Intermedio, este tramo de la conducción tiene una longitud de 12.5 Km, en una tubería de 800 mm de diámetro transportando un caudal máximo de 800 LPS y una velocidad nominal de 1.5 m/s, por lo tanto los medidores de caudal deben ir ubicados en la salida del tanque Cruz Verde y al ingreso del tanque Intermedio, los dos sensores deben ser para 800 mm de diámetro y poseer un rango de lectura de 0 a 1000 LPS.

Tanque Intermedio – Azúa, este tramo de la conducción tiene una longitud de 15.5 Km, en una tubería de 800 mm de diámetro transportando un caudal máximo de 800 LPS y una velocidad nominal de 1.8 m/s, por lo tanto los medidores de caudal deben ir ubicados en la salida del tanque intermedio y al ingreso de la estación de distribución Azúa, los dos sensores deben ser para 800 mm de diámetro y poseer un rango de lectura de 0 a 1000 LPS.

En el caso de detectar fugas se debe apagar la estación de bombeo El Ceibal o cerrar la válvula de descarga del tanque Intermedio y tanque Cruz Verde.

3.2.5. Esquema de ubicación de cada elemento de control.

Los esquemas que se presentan a continuación indican la posición y la ubicación de los equipos de control y controladores dentro de las estaciones de bombeo con respecto a los grupos e bombeo, tubería de impulsión o demás elementos presentes en las instalaciones.

La Figura 46 muestra la ubicación de los elementos de control para la estación de bombeo El Ceibal.

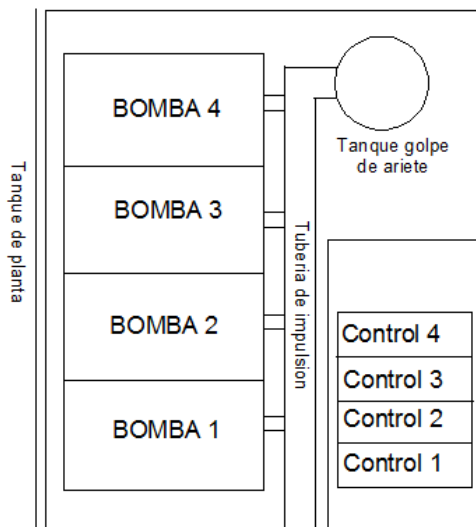


Figura 46. Esquema de ubicación de elementos de control en la estación El Ceibal

La Figura 47 muestra la ubicación de los elementos de control para la estación de bombeo Caza Lagarto.

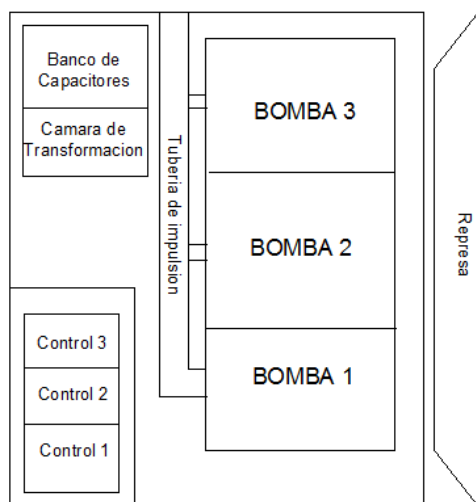


Figura 47. Esquema de ubicación de elementos de control en la estación Caza Lagarto

La Figura 48 muestra la ubicación de los elementos de control para la estación de bombeo Río de Oro.

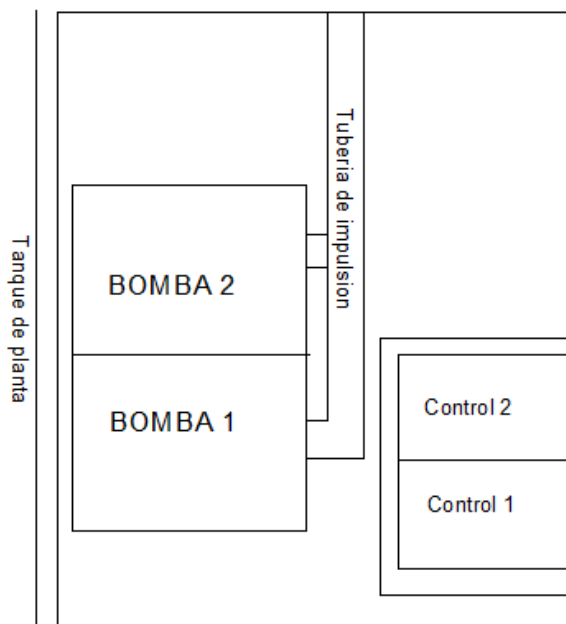


Figura 48. Esquema de ubicación de elementos de control para la estación Río de Oro

3.3. Ingeniería conceptual para subsistema de comunicación.

3.3.1. Requerimientos necesarios dentro del sistema de comunicación.

Este sistema es el encargado de transportar los datos adquiridos por el sistema de instrumentación hacia las demás estaciones o la estación central, así también transmitir las órdenes para efectuar las diversas acciones de control, encargado de comunicar los controladores de cada proceso a lo largo de la línea de conducción, por lo tanto para que la automatización sea exitosa este debe ser un sistema que no falle en la transmisión de los datos. Si lo es necesario se deberá contar con una red de respaldo la cual estará compuesta por una combinación de tecnologías con el objetivo de que el sistema de

comunicación incremente su disponibilidad y que la automatización y control de los procesos no sean interrumpidos.

La red de comunicación podrá combinar tecnologías inalámbricas y cableadas pero todas deben trabajar sobre una plataforma de comunicación Ethernet TCP/IP usando el protocolo de comunicación que permitirá transportar los datos de cada controlador y que la integración de cada proceso se pueda realizar sin inconvenientes. Es de gran importancia que cada equipo de comunicación cuente con energía eléctrica para su alimentación además de que si es necesario se debe disponer de una torre de comunicación para los equipos de transmisión inalámbrica y su comunicación. Además de los equipos de comunicación o enlace se debe contar con equipos usados para la interconexión de computadoras, controladores y medios de transmisión los cuales deben poseer las respectivas normas de seguridad y protección. Finalmente si fuese necesario se debe contar con una banda de frecuencia privada para evitar cualquier interferencia que afecte la confiabilidad de la red.

3.3.2. Plataformas y tecnologías de comunicación existentes.

La Empresa Publica Aguas de Manta - EPAM, no cuenta con un sistema de comunicación existente para ninguno de los dos acueductos con el que se pueda contar para implementar la red de controladores, por lo tanto el diseño de la misma debe partir completamente desde el inicio.

Debido a que no se cuenta con una plataforma de comunicación existente se realizará un análisis de las plataformas ofertadas por diferentes fabricantes de controladores con las que se trabaja en la industria para la automatización de diversos procesos

- **Redes de comunicación industrial Profibus (Vicente Guerrero, 2009).**

Con la idea de generar un bus de campo abierto y transparente que fuera válido para que diferentes fabricantes pudiesen unir en una misma red distintos dispositivos de automatización, nació Profibus. Su creación fue producida por diferentes empresas y algunas universidades para finalmente derivar en la norma estándar EN 50170 e IEC 61158. Existen tres perfiles distintos en Profibus, como son:

- Profibus FMS (Fieldbus Message Specification): Está implementado en el nivel 7 del modelo OSI, su aplicación es la transferencia e gran volumen de datos ente diferentes dispositivos inteligentes conectados en una misma red. El sistema está basado en una estructura cliente servidor.
- Profibus DP (Distributed Peripheral): Su aplicación está basada en el intercambio a gran velocidad de un volumen medio de información entre un controlador, que hace las funciones de maestro, y diferentes controladores o diferentes periféricos, como son autómatas programables, módulos I/O, convertidores de frecuencia, paneles de visualización, etc., que actúan como dispositivos esclavos, distribuidos en el proceso y conectados a una misma red de comunicación. Profibus DP trabaja dentro de los niveles 1 y 2 del modelo OSI y bajo las especificaciones de la norma RS-485.
- Profibus PA (Process Automation): En un caso ampliado de Profibus DP, diseñado para trabajar en los ámbitos de control de procesos, es decir, en zonas denominadas “Ex” de seguridad intrínseca. Este perfil sigue lo enunciado en la norma IEC 1158-2.

Las principales características que muestra Profibus son presentadas en la Tabla 11.

Tabla 11 Características principales de Profibus

Estándar	Profibus según EN 50170
Método de acceso.	Paso por testigo con maestro-esclavo.
Velocidad de transmisión.	9.6 Kb/s – 12 Mb/s
Tiempo de ciclo	Entre 5 y 10 ms
Volumen de datos	Hasta 264 bytes.
Medio de transmisión.	Cable de dos hilos apantallado
Eléctrico:	Cable de FO (cristal y plástico)
Óptico:	Infrarrojos.
Sin	
Hilos:	
Max n de nodos.	32 estaciones por segmentos y hasta un total de 127
Tamaño de la red.	Eléctrica: Máximo. 9.6 Km (depende de velocidad)
	Óptica: 150 Km (depende de velocidad)
Topologías.	Bus, árbol, estrella, anillo, anillo redundante.
Aplicaciones.	Comunicación de proceso, campo o datos.

Fuente: (Vicente Guerrero, 2009)

- **Redes de comunicación Industrial Ethernet (Vicente Guerrero, 2009).**

Industrial Ethernet para soluciones eficientes de automatización, en el ámbito industrial, dispone de una potente red de área y célula según el estándar IEEE 802.3 (Ethernet) y 802.11 (Wireless LAN). Actualmente Ethernet es, con una proporción de más de 80 %, el número uno en todo el mundo entre redes LAN. Este sistema permite crear, con Industrial Ethernet, potentes redes de comunicación de gran extensión.

Las múltiples posibilidades de intranet, Extranet e Internet que ya están disponibles actualmente en el ámbito de la oficina también se pueden aprovechar en la automatización manufacturera y de procesos.

La tecnología Ethernet, con gran éxito desde hace muchos años, en combinación con switching, full dúplex y autosensing, ofrece al usuario la posibilidad de adaptar el rendimiento necesario en su red de forma precisa a sus exigencias. La velocidad de

transmisión de datos se puede elegir según las necesidades, porque la compatibilidad sin lagunas permite la introducción escalonada de la nueva tecnología, Ethernet posee características importantes que pueden aportar ventajas esenciales.

- i. Puesta en marcha rápida gracias a un sistema de conexionado extremadamente simple.
- ii. Alta disponibilidad, las instalaciones existentes se pueden ampliar sin efectos negativos.
- iii. Rendimiento de comunicación prácticamente ilimitado; si se necesita, se lo puede escalar aplicando tecnología de conmutación y elevadas velocidades de transferencia de datos.
- iv. Interconexión entre áreas más diversas, como oficina y fabricación.
- v. Comunicación a escala corporativa gracias a la posibilidad de acoplamiento por WAN como RSDI o Internet.
- vi. Seguridad para las inversiones gracias a desarrollos y perfeccionamientos compatibles.
- vii. Reserva de ancho de banda en LAN inalámbrica industrial (IWLAN).

Las principales características de las redes Ethernet se muestran en la Tabla 12.

Tabla 12 Principales características Ethernet 802.3

Características	Ethernet	IEEE 802.3					
		10BaseT	10Base5	10Base2	10BaseE	100BaseTX	100BaseT4
Velocidad Mbps	10	10	10	10	10	100	100
Señalización	Band a Base	Banda Base	Banda Base	Banda Base	Banda Base	Banda Base	Banda Ancha
Tramos (m)	500	185	500	250	100	100	1800
Soporte Físico	Coaxial grueso 50Ω	Coaxial fino 50Ω	Coaxial grueso 50Ω	Par trenza sin blindar	Par trenza sin blindar	Par trenzado con blindaje	Coaxial 75Ω
Topología	Bus	Bus	Bus	Estrella	Estrella	Estrella	Estrella

Fuente: (Vicente Guerrero, 2009)

- **Red de comunicación industrial Profinet (Vicente Guerrero, 2009).**

En el contexto de Totally Integrated Automation (TIA), PROFINET es la evolución lógica del bus de campo Profibus DP y de industrial Ethernet. La experiencia de años sistemas ha sido y está siendo integrada en PROFINET.

Los objetivos de Profinet son:

- Ser un estándar abierto para la automatización basado en Industrial Ethernet.
- Que los componentes de industrial Ethernet y Standard Ethernet puedan utilizarse conjuntamente, aunque los equipos de Industrial Ethernet sean más robustos.
- Usar estándares TCP/IP y de tecnologías de la información.
- Automatización con Ethernet en tiempo real.
- Integrar de forma directa sistemas con bus de campo.

Las principales características de las redes Profinet se muestran en la Tabla 13.

Tabla 13 Principales características de Profinet

Propiedad	Conexión	Tipo de cable	Velocidad de transferencia	Long. Max. segmento
Eléctrica	Conector RJ45	Par trenzado 2x2, CAT 5.	100 Mbit/s / dúplex.	100 m
Óptica.	SCRJ 45	Fibra óptica POF.	100 Mbits/s / dúplex.	50 m
		Fibra óptica recubierta de plástico.	100 Mbits/s / dúplex.	100 m
	BFOC	Fibra monomodal	100 Mbits/s / dúplex.	26 Km
		Fibra multimodal	100 Mbits/s / dúplex.	3000 Km
Ondas de radio		IEEE 802.11	54 Mbits/s / semi dúplex / 2.4 GHz.	15 Km.

Fuente: (Vicente Guerrero, 2009).

- **Red de comunicación industrial ControlNet.**

La red ControlNet es una red abierta determinista de alta velocidad que se usa para transmitir información de tiempo crítico. Proporciona los servicios de control y transmisión de mensajes en tiempo real para la comunicación entre dispositivos similares. Como vínculo de alta velocidad entre los controladores y los dispositivos de I/O, una red ControlNet combina las capacidades de las redes existentes universales de I/O remotas y DH+. Se puede conectar una variedad de dispositivos a la red ControlNet, incluso computadoras personales, controladores, interfaces de operador-máquina, variadores, módulos de I/O y otros dispositivos con conexiones ControlNet.

En la capa de control, una red ControlNet combina la funcionalidad de una red de I/O y una red de transmisión de mensajes entre dispositivos similares. Esta red abierta proporciona el rendimiento necesario para el control de datos críticos, tales como las

actualizaciones de I/O y el enclavamiento entre controladores. La red ControlNet también posibilita las transferencias de datos no críticos, tales como las carga/descarga de programas y la transmisión de mensajes.

Características:

- i. Capa de control dentro de la pirámide de automatización.
- ii. Transfiere datos de I/O y programa.
- iii. Altas velocidades de transmisión: 5 Mbps. Tiempo de actualización de la red 2 – 100 ms.
- iv. Determinista.

- **Red de comunicación industrial DeviceNet (Vicente Guerrero, 2009).**

Una red DeviceNet es un vínculo de comunicación abierto de bajo nivel que proporciona conexiones entre los dispositivos sencillos industriales (tales como los sensores y actuadores) y los dispositivos de alto nivel (tales como los controladores). Esta red abierta está basada en la tecnología estándar de red de área de controlador (CAN) y ofrece un nivel de interoperación entre dispositivos similares provenientes de diversos fabricantes. Una red DeviceNet reduce:

- i. Los gastos de instalación.
- ii. El tiempo de puesta en marcha y habilitación.
- iii. El tiempo improductivo del sistema y la máquina.

Una red DeviceNet proporciona las siguientes ventajas debido a sus características:

- i. Interoperación, los dispositivos sencillos de múltiples fabricantes que cumplen con las normas DeviceNet son intercambiables, lo cual le proporciona flexibilidad y selección.

- ii. Redes comunes, una red abierta proporciona soluciones comunes para el usuario final y reduce la necesidad de ser compatible con una gran variedad de redes de dispositivo.
- iii. Menores gastos de mantenimiento, los dispositivos se pueden desmontar y reemplazar sin interrumpir el funcionamiento de otros dispositivos.
- iv. Cableado económico, un solo cable proporciona las comunicaciones y la alimentación eléctrica de 24 V. La instalación de dispositivos conectados a la red es más económica que el cableado de I/O tradicional.
- v. Entre otras características DeviceNet se encuentra en la capa de dispositivos, es una norma abierta, trabaja con velocidades de 125, 250 y 500 Kbps, se conecta directamente con los dispositivos de bajo nivel.

3.3.3. Viabilidad y disponibilidad técnica para sistema de comunicación.

El sistema de comunicación puede ser el más complejo debido a que se deben manejar parámetros ajenos al propio sistema para considerarlo viable, como es la ubicación de los equipos de transmisión para conseguir línea de vista, las interferencias que se pueden presentar si se usaría un medio de transmisión inalámbrico, disponibilidad de la red, velocidad de transmisión, distancia entre las estaciones, etc. Se establece que el sistema es viable debido a que los equipos de comunicación actualmente ofertados por diferentes fabricantes cumplen con estos parámetros sin inconvenientes y logran mantener la confiabilidad en el transporte de los datos.

Además se considera viable al sistema porque los equipos y tecnologías de comunicación son capaces de transportar los tipos de datos necesarios para la integración de los procesos, asegurar el flujo de información confirmando que los datos no lleguen con errores y puedan ser interpretados por los controladores de cada proceso. Como se expuso en el apartado anterior existen varios protocolos y plataformas de comunicación industrial, sabiendo que cada uno de ellos permite integrar los sistemas y procesos existentes en las líneas de conducción, entonces se considerara viable el sistema si este puede cumplir con los siguientes parámetros.

- i. Manejar las posibles interferencias existentes por otros sistemas de comunicación.
- ii. Asegurar el flujo de información, datos lleguen sin errores, velocidad de transmisión.
- iii. Ubicación de cada equipo de transmisión asegurando la línea de vista.
- iv. Capacidad de transportar los tipos de datos necesarios para integrar los procesos.

Evaluando los parámetros tratados para la viabilidad técnica se considera que los elementos necesarios para el sistema están disponibles dentro del mercado nacional o internacional, destacando que cumplen con todo lo expuesto sin inconvenientes. También se considera dentro de la disponibilidad contar con una frecuencia de banda licenciada, lo cual evitaría cualquier problema ocasionado por interferencias.

3.3.4. Esquema de topología de red y arquitectura de comunicación.

- **Esquema de comunicación para el acueducto Caza Lagarto - El Colorado.**

Esta línea de conducción cuenta con seis estaciones que estarán comunicadas entre sí mediante una topología de red tipo bus, adecuada para garantizar los parámetros establecidos en el apartado anterior. A continuación se detallara cada una de las estaciones y su ubicación geo referenciada.

- i. Estación de bombeo Caza Lagarto, ubicación: S 01° 12' 47.4" W 80° 21' 27.1".
59 msnm.
- ii. Tanque del cerro Mocochoal, ubicación S 01° 13' 19.3" W 80° 22' 1.3". 284 msnm.
- iii. Interconexión Loma Blanca.
- iv. Estación de bombeo Rio de Oro, ubicación S 01° 04' 16.5" W 80° 33' 05.1".
143 msnm.
- v. Interconexión Las Palmas.

- vi. Estación de potabilización El Colorado, ubicación S 01° 00' 18.0" W 80° 41' 13.7". 110 msnm.

La Figura 49 muestra la topología de red para el sistema de comunicación destacando cada uno de los puntos a lo largo de la línea de conducción, las distancias entre estaciones y su ubicación geo referenciada.

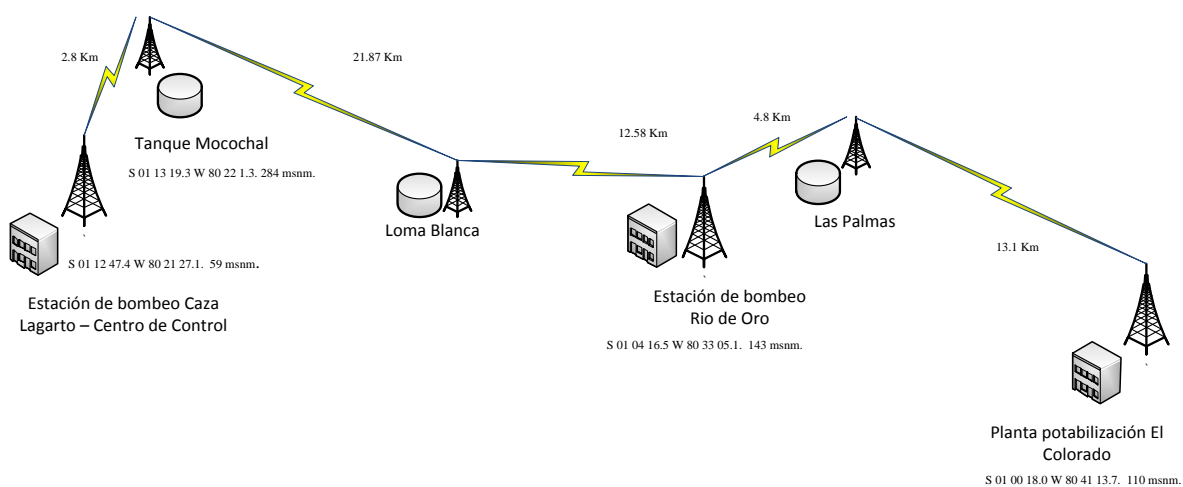


Figura 49. Topología de red para el sistema de comunicación del acueducto Caza Lagarto – EL Colorado.

- **Esquema de comunicación para el acueducto El Ceibal – Azúa.**

Esta línea de conducción cuenta con cuatro estaciones que estarán comunicadas entre sí mediante una topología de red tipo bus, adecuada para garantizar los parámetros establecidos en el apartado anterior. A continuación se detallara cada una de las estaciones y su ubicación geo referenciada.

- Estación de bombeo El Ceibal, ubicación: S 00° 55' 05.3" W 80° 29' 05.2".
- Tanque del cerro Cruz Verde, ubicación: S 00° 55' 37.6" W 80° 29' 18.6".
- Tanque Intermedio, ubicación: S 00° 59' 31.3" W 80° 35' 21.7".

iv. Estación de distribución Azúa: S 00° 59' 13.0" W 80° 41' 40.6".

La Figura 50 muestra la topología de red para el sistema de comunicación destacando cada uno de los puntos a lo largo de la línea de conducción, las distancias entre estaciones y su ubicación geo referenciada.

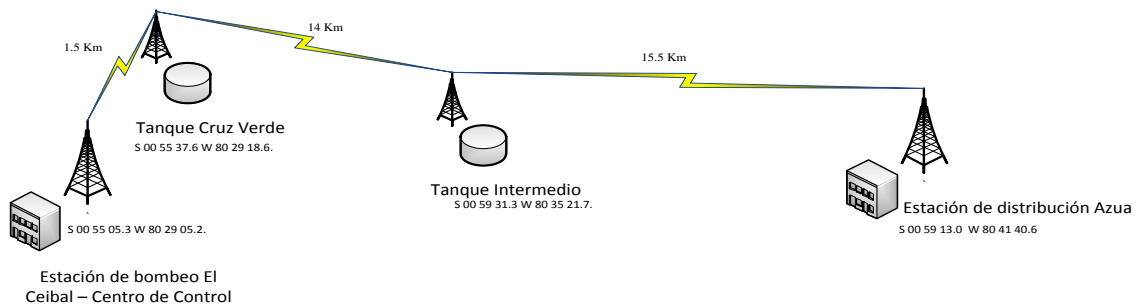


Figura 50: Topología de red para el sistema de comunicación del acueducto El Ceibal – Azúa.

3.4. Ingeniería conceptual para subsistema de supervisión y monitoreo.

3.4.1. Requerimientos necesarios dentro del sistema de supervisión y monitoreo.

Este sistema será el encargado de la presentación, operación y arranque de todo el proceso, será la manera que los operadores puedan comunicarse con el proceso o interpretarlo al mismo. Encargado de presentar toda la información adquirida a lo largo de la línea de conducción, realizar acciones de control de manera manual o automática.

Como requerimientos se encuentran los siguientes, el software encargado del manejo de las interfaces y monitoreo no debe ser de tipo propietario sino del tipo libre con el objetivo de poder manejar diferentes equipos de diversos fabricantes, facilitando de gran manera la integración de todo el proceso.

Las computadoras donde se estará ejecutando este software deben poseer todas las características necesarias para la operación efectiva de este programa. De igual forma los monitores donde se visualizaran cada uno de los procesos de manera gráfica deben poseer la resolución y calidad de imagen necesaria para que los operadores logren interpretar de manera visual todo el proceso.

El software para el desarrollo de las interfaces y sistema de monitoreo debe ser capaz de integrarse y manejar una base de datos en donde se guardara cierta información importante para que los operadores verifiquen el funcionamiento del sistema de conducción a lo largo de cierto periodo de tiempo. El sistema debe ser capaz de reportar errores ocurridos en el proceso así como manejar diferentes tipos y estados de alarmas que ayudaran a corregir cualquier falla durante la operación.

Por último es necesario que exista una estación de control central por cada acueducto para verificar la información de todo el recorrido de conducción de manera centralizada y poder efectuar diversas acciones de control en base a la información recogida, estas estaciones estarán ubicadas en Caza Lagarto para un acueducto y El Ceibal para el otro.

3.4.2. Análisis de elementos a monitorear y controlar.

Se deberá monitorear y ejercer acciones de control sobre los siguientes elementos a lo largo de la línea de conducción, las variables y procesos a monitorear serán los mismos para cada acueducto, pero siempre considerando los rangos de cada magnitud establecidos en el sistema de instrumentación.

- **Elementos a monitorear, presentes en el acueducto Caza Lagarto – El Colorado.**

Principalmente se monitorea el caudal existente en toda la línea de conducción, lo que implica visualizar esta variable en los siguientes puntos.

- i. Impulsión en la estación de bombeo Caza Lagarto.
- ii. Salida del tanque del cerro Mocochoal.
- iii. Ingreso y salida de la interconexión en Loma Blanca.
- iv. Ingreso y en la línea de impulsión de la estación de bombeo Río de Oro.
- v. Salida de la interconexión en Las Palmas.
- vi. Ingreso de la estación de potabilización El Colorado.

Estación de bombeo Caza Lagarto, se debe monitorear cada uno de las variables involucradas en esta planta, se debe visualizar la temperatura de cada motor eléctrico, la presión en la línea de impulsión, nivel necesario en la represa, así como el estado de diferentes válvulas ubicadas en los grupos de bombeo. Es de gran importancia conocer el tiempo que se encuentra en operación las bombas así como el voltaje y la corriente de operación de cada uno. Para la estación se debe monitorear tres grupos de bombeo.

Estación de bombeo Río de Oro, se debe evaluar los mismos parámetros que en la estación Caza Lagarto con la diferencia que ahí existen dos grupos de bombeo y el tanque de planta se debe monitorear todo su nivel de manera continua.

- **Elementos a monitorear, presentes en el acueducto El Ceibal – Azúa,**

Al igual que en el acueducto anterior se monitorea el caudal existente en toda la línea de conducción, evaluando los siguientes puntos.

- i. Impulsión en la estación de bombeo El Ceibal.
- ii. Salida del tanque del cerro Cruz Verde.
- iii. Ingreso y salida de la interconexión del tanque Intermedio.
- iv. Ingreso de la estación de distribución Azúa.

Estación de bombeo Caza Lagarto, se debe monitorear cada uno de las variables involucradas en esta planta, se debe visualizar la temperatura de cada motor eléctrico, la presión en la línea de impulsión, nivel continuo en el tanque de planta, así como el estado

de diferentes válvulas ubicadas en los grupos de bombeo. Es de gran importancia conocer el tiempo que se encuentra en operación las bombas así como el voltaje y la corriente de operación de cada uno. Para la estación se debe monitorear cuatro grupos de bombeo.

Para los dos acueductos es importante que dentro del sistema de monitoreo y supervisión se manejen alarmas que ayuden al operador a saber cuándo corregir cualquier error presentado en las estaciones de bombeo. Los tanques ubicados a lo largo de la líneas de conducción deben tener un monitoreo para su nivel.

Este sistema debe ser capaz de ejecutar cualquiera de las acciones de control planteadas en el sistema de control de manera automática y manual, en otras palabras debe ser la interfaz para operar cualquier proceso entre el operador y las máquinas.

3.4.3. Viabilidad y disponibilidad técnica para el sistema de supervisión.

El sistema de Monitoreo será viable siempre y cuando los sistemas de control e instrumentación entreguen los datos de manera correcta y puedan ser interpretados por el software de monitoreo, además de depender del sistema de comunicación. El sistema será viable si es capaz de integrar a todos los sistemas y presentarlos desde un solo punto, siendo capaz de operar todos los procesos de manera remota, manual o automática. Es viable debido a que existe software de monitoreo del tipo libre que permiten comunicarse con diversos equipos de distintos fabricantes. Además de que actualmente este tipo de sistema es muy requerido en la industria y los fabricantes de software de monitoreo ofrecen una gran variedad de aplicaciones y herramientas para desarrollar un sistema.

Los requerimientos planteados en el apartado anterior pueden ser cumplidos sin ningún inconveniente, lo que facilitaría el diseño y desarrollo de este sistema considerando que el software tenga capacidad para trabajar con los siguientes puntos.

- i. Integración con diferentes marcas de controladores.
- ii. Capacidad de manejar base de datos y reportes de errores o alarmas.
- iii. Posee una librería con diferentes gráficos y símbolos prediseñados que puedan ayudar al operador a interpretar de mejor manera el proceso.
- iv. Capacidad de comunicación mediante red Ethernet IP.
- v. Las computadoras encargadas de ejecutar el sistema cumplen con los requerimientos de este software.

Los fabricantes de software de monitoreo ofrecen todas las capacidades necesarias para que este sistema sea viable y pueda operar todo el proceso de manera eficiente.

Dentro de la disponibilidad técnica se considera que los requerimientos y puntos tratados son viables, se conoce que en el mercado existe software capaz de cumplir con todo lo expuesto. Al tratarse de un programa para computador es mucho más sencillo adquirirlo que un equipo de control o sensor. Además cada desarrollador ofrece varias ventajas con respecto a otro software pero es conveniente realizar un análisis económico y de capacidades para establecer cual es más idóneo para acoplarse al sistema.

3.4.4. Esquemas de arquitectura de control a ser desarrollada.

La Figura 51 muestra el esquema para la arquitectura de control en donde se destaca las variables a ser monitoreadas, el control que se aplicara en cada punto y la topología de red del sistema, también se puntualiza que los equipos de control serán Controladores Lógicos Programables usados para la adquisición de datos, control de procesos, monitoreo del sistema y comunicación entre estaciones. Por último Figura 52 muestra la arquitectura de control para la línea de conducción El Ceibal – Azúa.

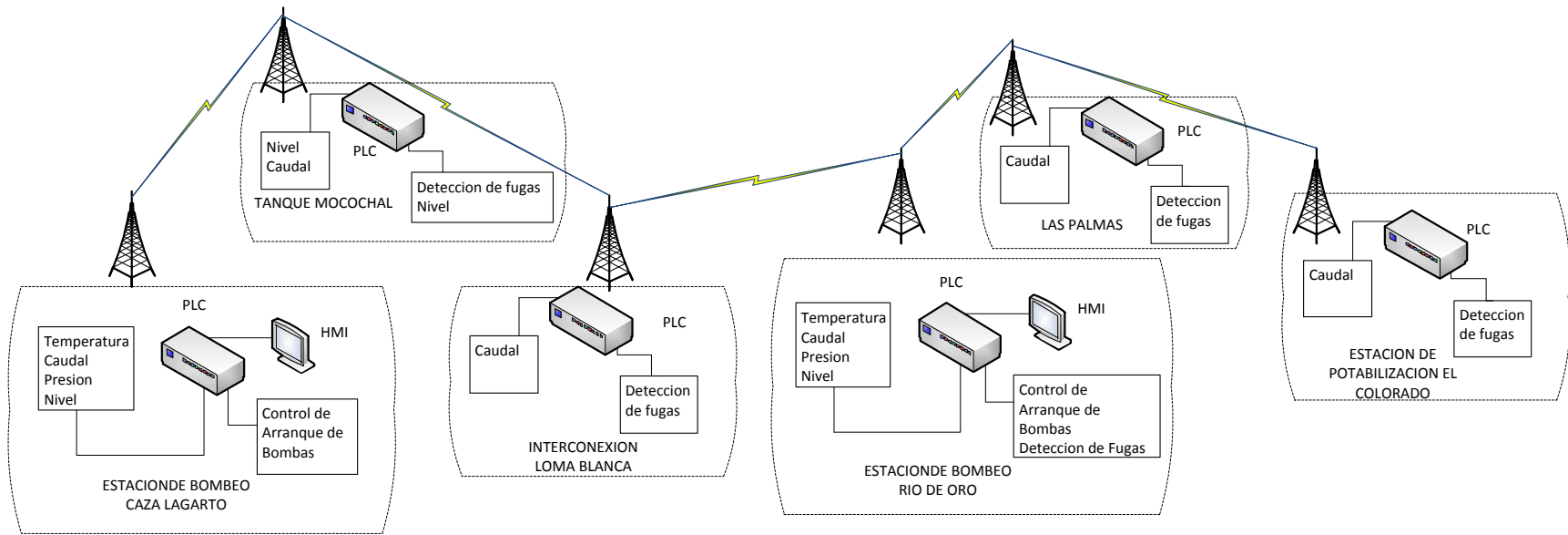


Figura 51. Arquitectura de control para el sistema de automatización del acueducto Caza Lagarto - El Colorado.

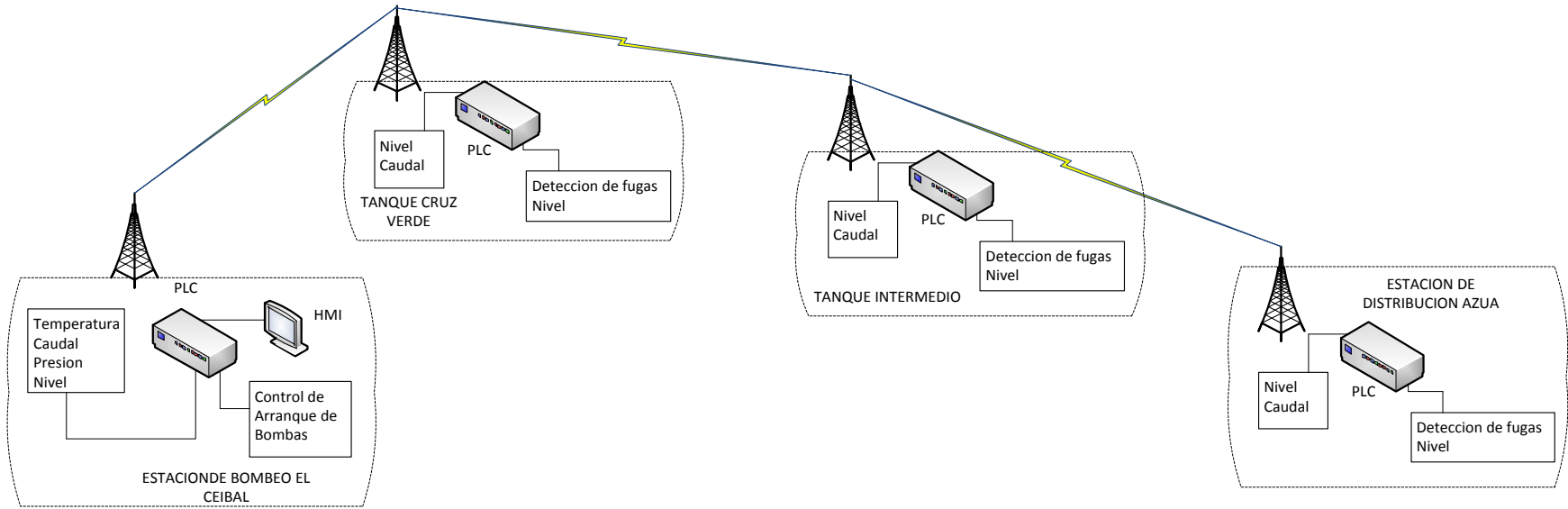


Figura 52. Esquema de arquitectura de control para el sistema de automatización del acueducto El Ceibal - Azúa.

3.5. Ingeniería básica para subsistema de instrumentación.

3.5.1. Análisis y revisión de instrumentos necesarios y existentes.

Dentro de este punto se realizara una lista de los instrumentos con los que debe contar el sistema para que cumpla con los requerimientos. Así como las características básicas que poseen cada una de los instrumentos.

- **Instrumentos de medida en acueducto Caza Lagarto – El Colorado.**

- **Medición de caudal.**

El instrumento existente para la medición de caudal está ubicado en la estación de bombeo Caza Lagarto y es usado para medir el caudal impulsado por esta estación, sus características han sido detalladas en el apartado de Ingeniería Conceptual, por lo tanto se describe de manera básica su función.

Sensor Sparling FM656 Tigermag EP, sensor electromagnético con rango de medida de 0 a 1200 LPS con respuesta analógica de 4 a 20 mA o en frecuencia de 0 – 1000 Hz para un rango de flujo de 0 – 100 % a 15 V DC. Además posee la capacidad de comunicarse vía RS232.

Para que el sistema sea capaz de detectar fugas en la tubería se debe contar con sensores ubicados en los siguientes puntos.

- i. Salida del tanque del cerro Mocochoal en una tubería de 500 mm de diámetro.
- ii. Ingreso de la interconexión de Loma Blanca en tubería de 500 mm de diámetro.
- iii. Salida de la interconexión de Loma Blanca en tubería de 600 mm de diámetro.
- iv. Ingreso de la estación de bombeo Río de Oro en tubería de 600 mm de diámetro.
- v. Salida de la interconexión de Las Palmas en tubería 450 mm de diámetro.

- vi. Ingreso a la estación de potabilización El Colorado en tubería de 400 mm de diámetro.

Además de contar con los sensores en la tubería, es necesario contar con uno en la línea de impulsión de la estación Río de Oro para medir el caudal impulsado por la estación.

Los seis sensores usados en las tuberías como como los dos sensores para las estaciones de bombeo, deben ser los mismos, pero en el caso de que se consiga un sensor con capacidades similares y más económico que el Sparling FM656, la alternativa debe ser un medidor que posea un rango de lectura de 0 a 1200 LPS mientras que la respuesta necesaria debe ser 4 a 20 mA y además de esta, poseer diferentes tipos de respuestas y comunicación digital.

- **Instrumentos de medida en acueducto El Ceibal – Azúa.**

Por otra parte la estación de bombeo El Ceibal cuenta con un sensor de caudal con principio de ultrasonido, usado para medir el caudal impulsado por la estación, el Siemens modelo SITRANS F US SONO 3100 con rango de medida de 0 – 5000 m³/h - 1388 LPS, pulso configurable a pasivas o activas con 5000 pulsos/s, ancho < 0.1 ms, y frecuencia de respuesta por arriba de 10 KHz, además de salida analógica de 0 – 4 mA – 20 mA, comunicación HART.

Para que el sistema sea capaz de detectar fugas en la tubería se debe contar con sensores ubicados en los siguientes puntos.

- i. Salida del tanque del cerro Cruz Verde en una tubería de 800 mm de diámetro.
- ii. Ingreso del tanque Intermedio en tubería de 800 mm de diámetro.
- iii. Salida del tanque Intermedio en tubería de 800 mm de diámetro.
- iv. Ingreso de la estación de distribución Azúa en tubería de 800 mm de diámetro.

Los cuatro sensores usados en las tuberías como el Siemens para las estación de bombeo El Ceibal, deben ser los mismos, pero en el caso de que se consiga un sensor con capacidades similares y más económico que este, la alternativa debe ser un medidor que posea un rango de lectura de 0 a 1400 LPS – 5000 m³/h, mientras que la respuesta necesaria debe ser 4 a 20 mA y además de esta, poseer diferentes tipos de respuestas y comunicación digital.

– **Medición de Presión.**

La medida de presión se la realiza en la salida de cada estación de bombeo, cada estación de bombeo debe contar con un sensor de presión, este será ubicado a continuación del medidor de caudal. A continuación se presenta los sensores a ser ubicados, su rango de medida y respuesta, es importante que estos medidores cuenten con un indicador de presión con el objetivo de conocer el valor de la variable de manera local.

- i. Sensor de presión estación de bombeo Caza Lagarto, rango de medida de 0 – 600 PSI, respuesta de 4 a 20 mA.
- ii. Sensor de presión estación de bombeo Río de Oro, rango de medida de 0 – 600 PSI, respuesta de 4 a 20 mA.
- iii. Sensor de presión estación de bombeo El Ceibal, rango de medida de 0 – 600 PSI, respuesta de 4 a 20 mA.

Cada uno de estos sensores deben contar con su respectiva instrumentación para asegurar que la precisión en la lectura sea menor al $\pm 1\%$ de la variable sobre el rango de medida.

– **Medición de Temperatura.**

Los instrumentos encargados de medir esta variable, están actualmente instalados en cada uno de los motores eléctricos de cada estación de bombeo, estos se encuentran en los devanados del motor y poseen su propia instrumentación para tener una respuesta de 4 a

20 mA. Los rangos de medida de cada sensor se muestran a continuación. Es importante conocer que estos sensores son tipo PT100.

- i. Estación Caza Lagarto tres sensores de temperatura con rango de medida de 20 a 300 °C.
- ii. Estación Río de Oro dos sensores de temperatura con rango de medida de 20 a 250 °C.
- iii. Estación El Ceibal cuatro sensores de temperatura con rango de medida de 20 a 250 °C.

– **Medición de nivel en acueducto Caza Lagarto – El Colorado.**

Por el momento los tanques en las estaciones de bombeo o los tanques existentes en la línea de conducción no poseen ningún sensor de nivel, por lo tanto se debe detallar cuantos sensores se necesitan, su rango de medida y su respuesta.

La estación de bombeo Caza Lagarto tiene la captación desde una represa ubicada en el mismo sitio la cual debe tener un nivel para que las bombas arranquen, este punto debe estar a 0.6 m del fondo de la represa por lo que se debe contar con un simple contacto que verifique si el nivel es el requerido. Para este punto no es necesario contar con un sensor de nivel. El agua bombeada desde Caza Lagarto llega al tanque del cerro Mocochoal, el cual tiene una altura de cinco metros y para medir este nivel de manera continua es necesario contar con un sensor de rango 0 – 5 m. Este instrumento debe tener una respuesta analógica en corriente de 4 a 20 mA.

La estación de bombeo Río de Oro posee un tanque de almacenamiento donde las bombas toman el agua para la impulsión, este tanque tiene una altura de cinco metros por lo que es necesario contar con el mismo instrumento usado en el tanque Mocochoal. Para monitorear los niveles en los tanques de este acueducto es necesario contar con los siguientes instrumentos.

- i. Dos sensores de nivel de rango 0 – 5 m y respuesta de 4 a 20 mA.
- ii. Un contacto mecánico para conocer si el nivel desciende de 0.6 m.

– **Medición de nivel en acueducto El Ceibal – Azúa.**

La estación de bombeo El Ceibal posee un tanque de cinco metros de altura encargado de almacenar el agua potable, y de aquí las bombas toman el agua para la impulsión. Por lo que es necesario monitorear el nivel continuo de este tanque con un sensor de rango 0 – 5 m y una respuesta en corriente de 4 a 20 mA.

En la línea de conducción existen dos tanques con la misma capacidad e igual altura, uno ubicado en el cerro Cruz Verde y otro llamado Tanque Intermedio. Estos tanques deben ser monitoreados por un sensor que posea un rango de medida de 0 a 5 m y con una respuesta analógica en corriente de 4 a 20 mA.

Por lo tanto es necesario contar con tres sensores de nivel de rango 0 – 5 m y respuesta de 4 a 20 mA que puedan medir el nivel existente en cada uno de los tres tanques.

3.5.2. Elaboración de diagramas P&ID preliminares para cada acueducto.

Los diagramas P&ID que se presentan a continuación fueron desarrollados para presentar la instrumentación existente y necesaria para que el proceso de automatización en las estaciones de bombeo se cumpla. Los instrumentos existentes en el diagrama son usados para medir las variables a tratar como, caudal, presión, temperatura y nivel. Además se presenta la disposición de cada válvula, motor y bomba presentes en cada grupo de bombeo.

- i. Estación de bombeo Caza Lagarto, la Figura 53 muestra el diagrama P&ID de la estación.

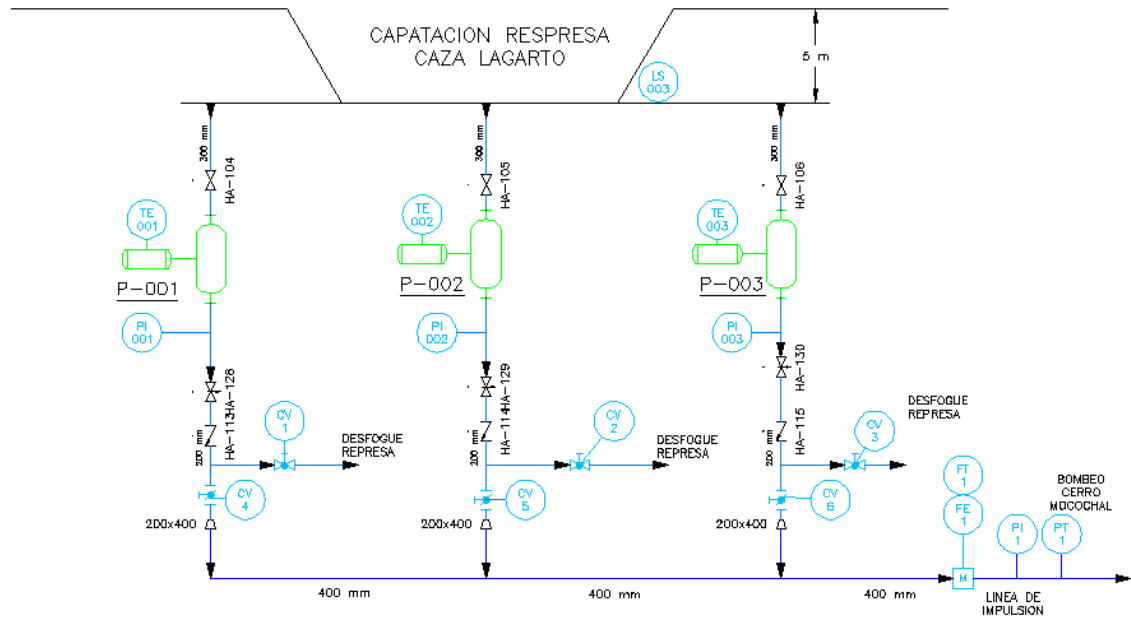


Figura 53 Diagrama P&ID para la estación de bombeo Caza Lagarto.

- ii. Estación de bombeo Río de Oro, la Figura 54 muestra el diagrama P&ID de la estación.

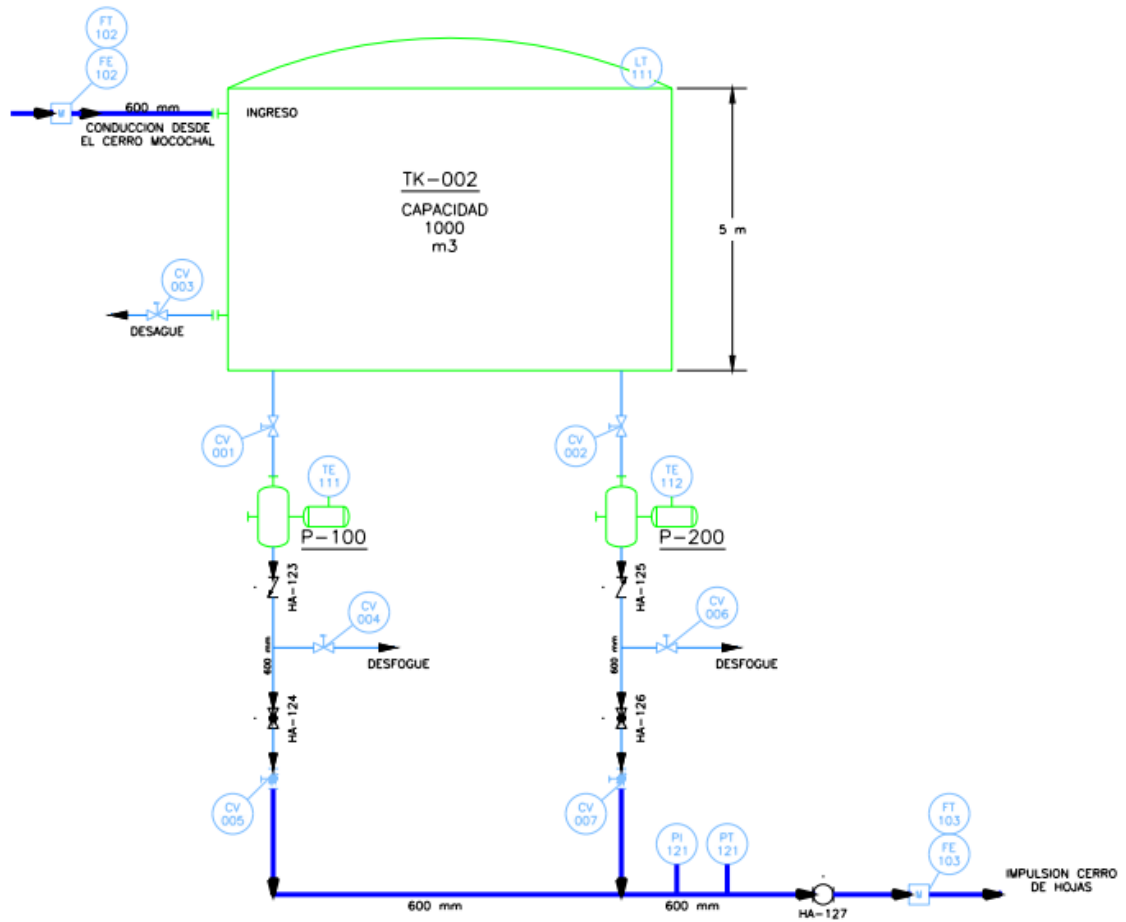


Figura 54. Diagrama P&ID para la estación de bombeo Rio de Oro.

- iii. Estación de bombeo El Ceibal, la Figura 55 muestra el diagrama P&ID de la estación.

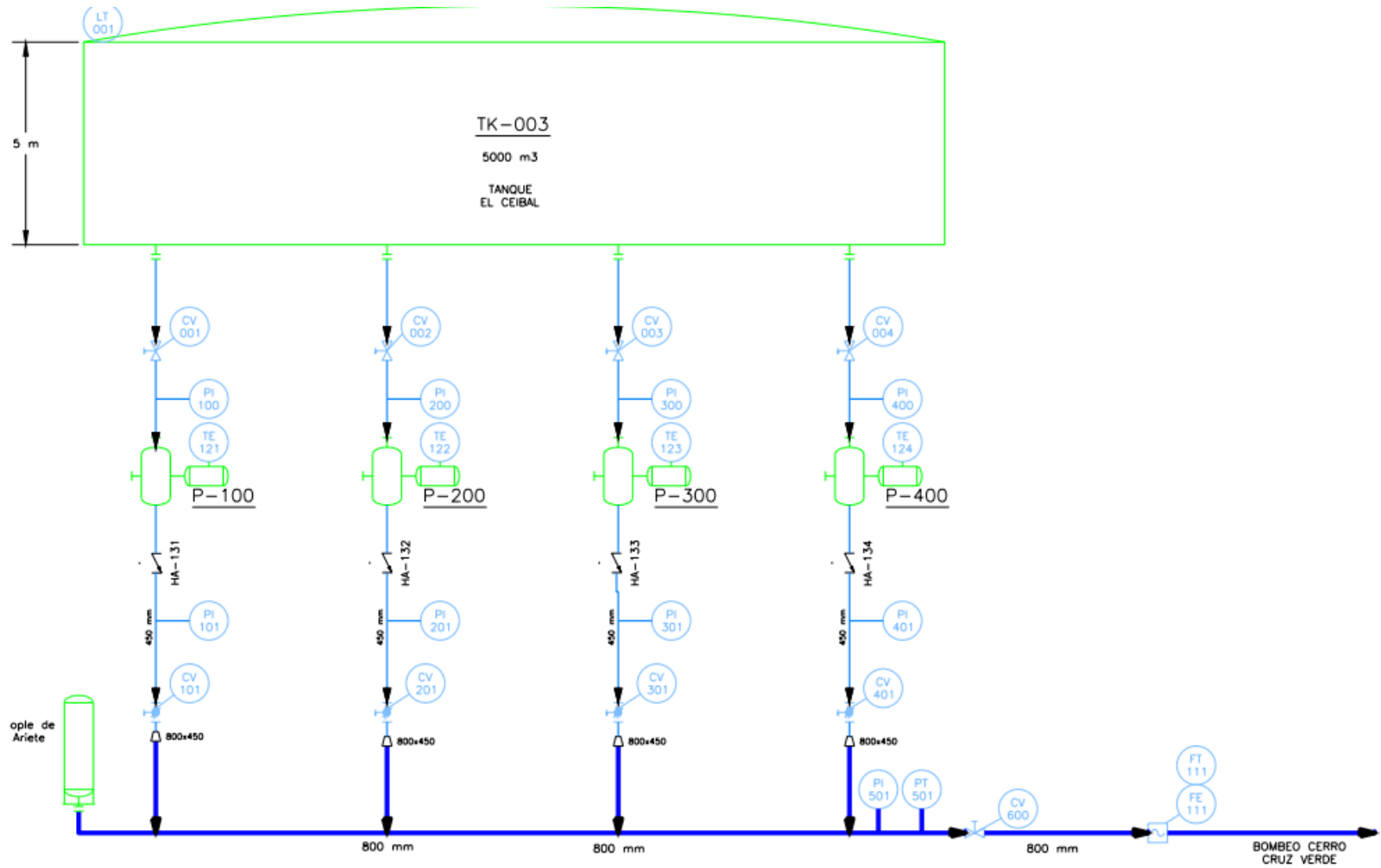


Figura 55. Diagrama P&ID de la estación de bombeo El Ceibal.

iv. Tanque del cerro Mocochoal, la Figura 56 muestra el diagrama P&ID del tanque.

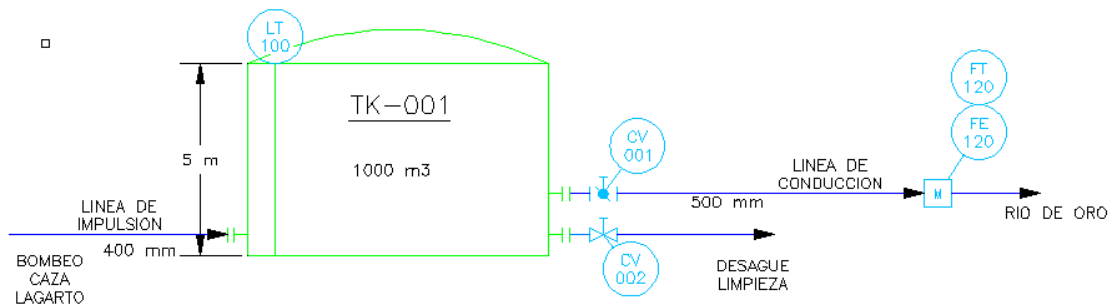


Figura 56. Diagrama P&ID para el tanque del cerro Mocochoal.

v. Tanque del cerro Cruz Verde e Intermedio, la Figura 57 muestra el diagrama P&ID para los tanques.

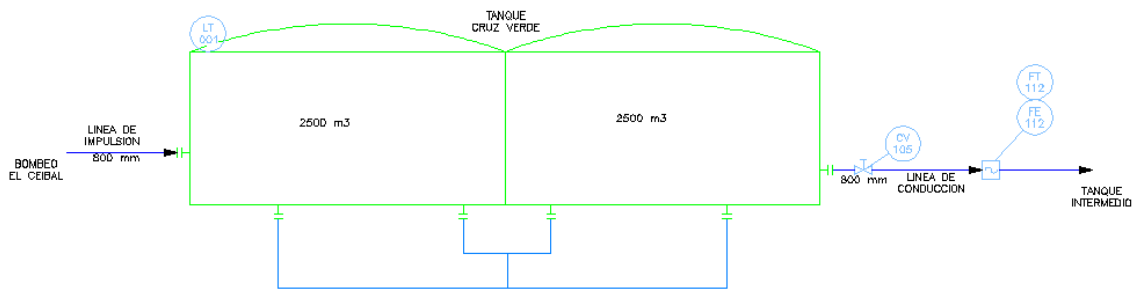


Figura 57. Diagrama P&ID para los tanques Cruz Verde e Intermedio.

3.5.3. Elaboración de diagramas unifilares eléctricos para los sensores.

- **Sensor de Caudal**

Diagrama unifilar eléctrico, en donde se detalla las conexiones del instrumento tanto para alimentación como para la señal de salida, este diagrama se muestra en la Figura 58

para el sensor de caudal Sparling Tigermag EP y la Figura 59 muestra el diagrama unifilar eléctrico para el sensor F US SONO 3100 de Siemens.

El sensor Sparling presenta las siguientes conexiones, Salida de frecuencia y pulsos, PZR punto de retorno a cero, una conexión para un diodo en el caso de manejar cargas inductivas, conexión para detectar la dirección del flujo a colector abierto, alarma de falla a colector abierto, conexión para salida analógica de corriente continua 0/4 a 20 mA, y alimentación de 110/220 V AC a frecuencia de 50/60 Hz.

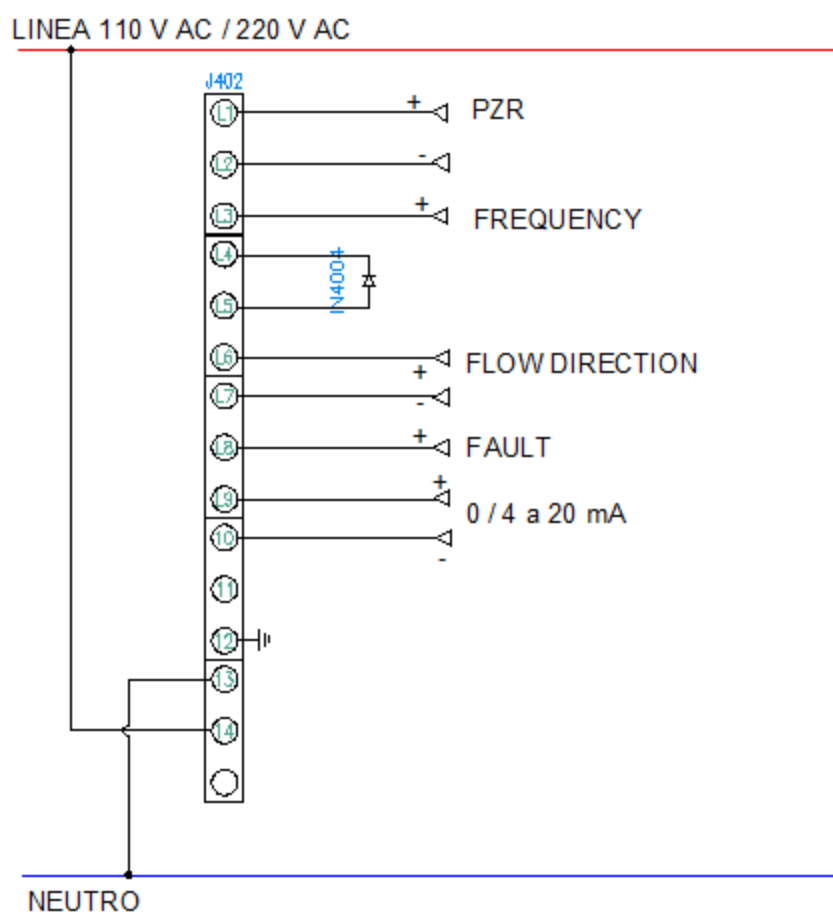


Figura 58. Sensor de caudal Sparling Tigermag EP, conexiones eléctricas.

El sensor de caudal Siemens, presenta las siguientes conexiones, salida analógica de corriente continua de 0/4 a 20 mA, conexión de una alarma para detección en la dirección

de flujo con carga máxima de 30 V DC, < 200 mA, respuesta por pulsos escalados y alimentación con 110/220 V AC a frecuencia de 50/60 Hz.

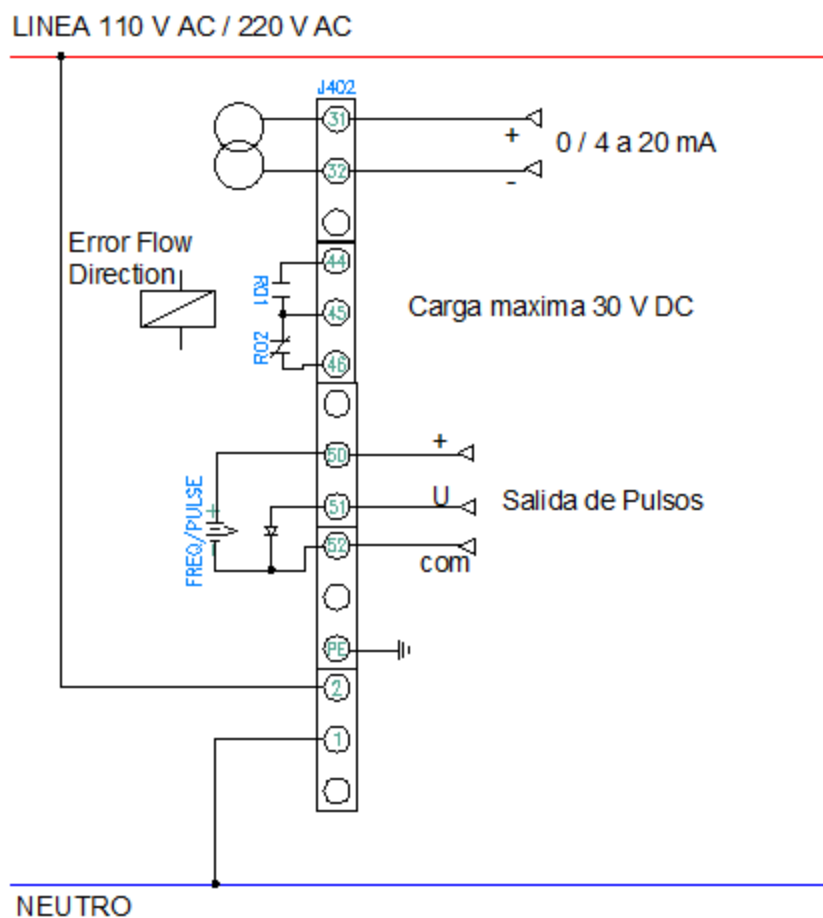


Figura 59. Sensor de flujo Siemens SONO 3100, conexiones eléctricas.

- **Sensor de presión.**

Diagrama de conexiones eléctricas, unifilar, donde se detalla las conexiones necesarias para el funcionamiento del sensor de estado sólido 836 E de Allen Bradley, mostrado en la Figura 60. El 836 E posee dos salidas tipo switch PNP o una salida PNP y otra analógica de corriente continua de 4 a 20 mA.

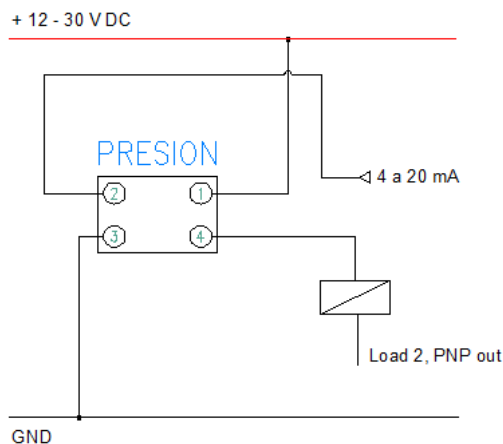


Figura 60: Sensor de presión Allen Bradley, 836 E, conexiones eléctricas.

- **Sensor de Temperatura.**

Diagrama de conexiones eléctricas unifilar, donde se detalla las conexiones necesarias para el funcionamiento del sensor de temperatura tipo PT100 existente en los motores ABB AC MACHINE y US MOTORS TITANL LINEA mostrado en la Figura 61.

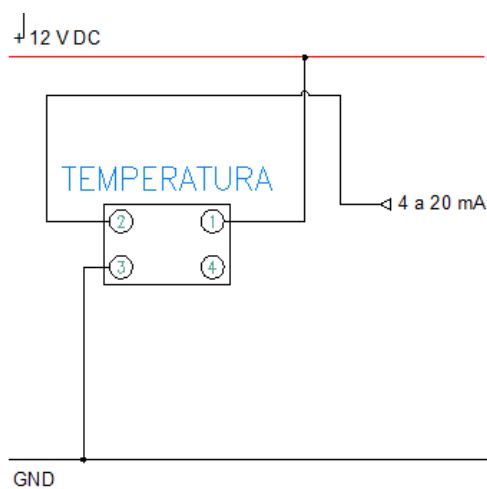


Figura 61. Sensor de temperatura existente en cada uno de los motores eléctricos.

- **Sensor de Nivel.**

Diagrama de conexiones eléctricas unifilar, donde se detalla las conexiones necesarias para el funcionamiento del sensor Ultrasonic Transmitter, The Probe de Siemens, mostrado en la Figura 62.

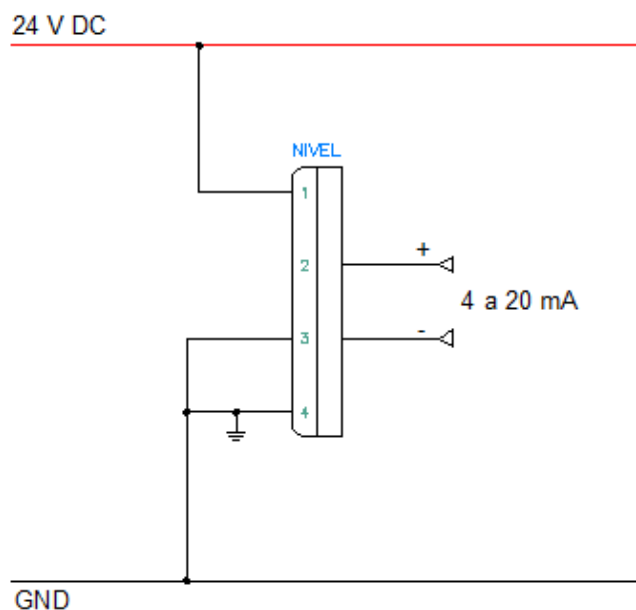


Figura 62. Conexiones eléctricas para el sensor de nivel Siemens The Probe

3.5.4. Selección y análisis de equipos de instrumentación según tecnología y prestaciones.

Para la selección de instrumentos usados en este sistema es necesario revisar lo determinado por los requerimientos, viabilidad y disponibilidad técnica, rangos de medidas y señales de respuesta necesarias para monitorear cada variable y por último el análisis de los instrumentos existentes y necesarios para lograr establecer cuáles son los instrumentos seleccionados para el sistema de automatización.

- **Medida de Caudal en acueducto Caza Lagarto – El Colorado.**

Para la medición de caudal es necesario contar con sensores en los siguientes puntos, impulsión en Caza Lagarto en tubería de 400 mm, salida del tanque Mocochoal en una tubería de 500 mm, ingreso de Loma Blanca en tubería de 500 mm, salida de Loma Blanca en tubería de 600 mm de diámetro, ingreso de Río de Oro en tubería de 600 mm, salida de Las Palmas en tubería 450 mm de diámetro y por ultimo ingreso a El Colorado en tubería de 400 mm.

Por lo tanto se establece que los sensores de caudal a usarse son dos de 400 mm de diámetro, dos para tubería de 600 mm, dos para 500 mm y un sensor para 450 mm. En total para monitorear el caudal en toda la línea de conducción es necesario usar siete sensores con un rango de medida mínimo de 0 a 1200 LPS. Las velocidades de conducción van desde los 1.5 m/s hasta los 10 m/s. Los sensores de caudal seleccionados son de la marca Sparling, modelo FM656 TIGERMAG EP, con principio de medida electromagnética. Estos instrumentos cumplen con todos los parámetros además de que uno se encuentra instalado en la impulsión de la estación de bombeo Caza Lagarto, con esto se asegura la compatibilidad entre equipos de diferentes fabricantes, una medida confiable además de poseer grados de protección necesarios para su ubicación.

Este medidor de caudal presenta las siguientes características:

- **Requerimientos de energía:** 12 – 60 V DC o 110 – 220 V AC.
- **Fusibles:** (12 – 60 V DC) 2.0 A o (77-265 V AC) 1.0 A.
- **Calibre del cable:** Poder 16/14 AWG, Señal 18 AWG, Tierra es el tercer cable de poder.
- **Precisión:** 0.5 % del rango de flujo (> 20 % del span), con velocidades de 3 – 33 fps, en tuberías de 1.0’’ a 48.0’’.

- **Condiciones de referencia:** 25 °C, 6 fps escala completa.
- **Repetibilidad:** Entre $\pm 0.1\%$ de la escala completa.
- **Consumo de energía:** Menor a 20 VA.
- **Señales de salida:** Analógica y digital simultaneas y aisladas. Analógicas de 0 – 20 mA o 4 – 20 mA con impedancia máxima de 800 ohmios. Digital frecuencia y pulso escalado.
 - i. Pulso escalado, 24 V DC con ancho de 12.5/25/50/100 ms.
 - ii. Frecuencia escala, 15 V DC onda cuadrada, ciclo de trabajo 50/50.
 - iii. Fallas con colector abierto.
 - iv. Todos los colectores abiertos son de 100 mA a 30 V DC.
 - v. Comunicación RS232.
- **Dirección del flujo:** Colector abierto (100 mA a 30 V DC). Activo en flujo contrario.
- **Rango de velocidad:** 0 – 3 o 0 – 33 fps. (0 – 1 o 0 – 10 m/s)
- **Temperatura Ambiente:** -30 a 60 °C.
- **Temperatura de proceso:** -30 a 60 °C.
- **Carcaza:** NEMA-4X & NEMA-7 a prueba de explosión.
- **Rangos de medida:** Para velocidades entres 1 – 10 m/s.
 - i. Tubería de 400 mm, rango de 0 a 18000 GPM / 1200 LPS.
 - ii. Tubería de 450 mm, rango de 0 a 22000 GPM / 1460 LPS.

- iii. Tubería de 500 mm, rango de 0 a 29000 GPM / 1930 LPS.
- iv. Tubería de 600 mm, rango de 0 a 42000 GPM / 2800 LPS.

El medidor debe ser ubicado en cualquier posición sea vertical u horizontal. El flujo puede ir en cualquier de las dos direcciones a través del medidor. La instalación vertical con el líquido fluyendo hacia arriba minimiza la posibilidad de la separación del lodo y asegura las condiciones de la tubería. La Figura 63 muestra un esquema de instalación de este sensor, el cual requiere todo el diámetro de la tubería.

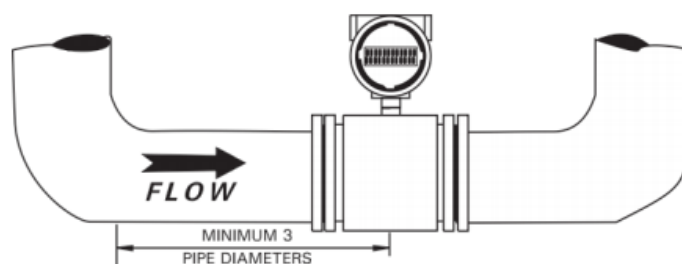


Figura 63. Instalación del sensor Sparling, FM656 TIGERMAG EP

Fuente: (Sparling, 2002)

- **Medida de Caudal Acueducto El Ceibal – Azúa**

Para la medición de caudal es necesario contar con sensores en los siguientes puntos, impulsión en El Ceibal en tubería de 800 mm, salida del tanque Cruz Verde en una tubería de 800 mm, ingreso de tanque Intermedio en tubería de 800 mm, salida de tanque Intermedio en tubería de 800 mm de diámetro, ingreso de estación de distribución Azúa en tubería de 800 mm. Teniendo en total cinco sensores de caudal para tubería de 800 mm.

El sensor a usar en esta línea de conducción es uno de marca Siemens modelo F US SONOFLO SONO 3100, el cual se encuentra instalado en la estación de bombeo El Ceibal, y cumple con todos las especificaciones y requerimientos expuestos en apartados

anteriores, es decir que este instrumento cumple de igual manera que el sensor Sparling de la otra línea de conducción.

El sensor SONO 3100 de Siemens tiene su principio de medida en el ultrasonido y son diseñados para medir volumen total o un rango de flujo volumétrico usando unidades estándares de volumen. Este instrumento posee las siguientes características.

- **Voltaje de operación:** 115-230 V AC, 24 V DC, 50 – 60 Hz, 20 VA.
- **Rango de velocidad:** 0 – 1 m/s o 0 – 10 m/s.
- **Repetibilidad:** 0.25 % en el rango desde 0.5 a 10 m/s.
- **Linealidad:** 0.4% para flujo turbulento y 1% para flujo laminar según el número de Reynolds.
- **Señales de salida:**
 - i. Analógica en corriente continua aislada, 0 – 20 mA o 4 – 20 mA con una impedancia menor a 800 ohmios.
 - ii. Frecuencia y pulso aislado, 0 – 10 KHz, constante de tiempo de 0.8 – 30 s, ancho de pulso ajustable a 0.05, 0.5, 5, 20, 50, 100, 500 ms y 1, 5 s.
 - iii. Modo de salida activo, 24 – 30 V DC, 25 mA (50 us a 5 s / 500 Hz a 10 KHz).
 - iv. Modo de salida pasivo, 5 – 30 V DC, corriente máxima de 200 mA.
 - v. Relé 42 V y 0.5 A, usados para conectar alarmas en condición de error.
- **Carcaza:** IP 67, IEC 529, vibración mecánica de 0 – 800 Hz, -20 °C a +55 °C.
- **Temperatura de operación:** Temperatura del líquido -10 °C a +200 °C, temperatura ambiente -20 °C a +200 °C.

- **Cable coaxial para transmisión de la señal**, 75Ω , 1×0.8 mm, longitud máxima 250 m entre sensor y controlador.
- **Rango de medida:** Para tubería de 800 mm y velocidad de 0 a 10 m/s, el rango de medida es de 0 – 5000 m³/h o 1400 LPS.
- **Medida de Presión en la línea de impulsión para cada estación de bombeo.**

Los medidores de presión deben ser usados para monitorear la presión en la línea de impulsión de las tres estaciones de bombeo, El Ceibal, Caza Lagarto y Río de Oro.

El mínimo rango de presión para las líneas de impulsión debe ser de 0 a 600 PSI. Considerando los parámetros de viabilidad y disponibilidad técnica, señales y rangos de medida, integración con controladores y equipos de diferentes fabricantes se ha escogido trabajar con el sensor de presión marca Allen Bradley modelo 836 E que son sensores de presión de estado sólido. El sensor presenta las siguientes características.

- **Voltaje de operación:** 12 – 30 V DC, consumo máximo de 60 mA.
- **Señal de Salida:** Analógica de corriente continua 4 – 20 mA, switch PNP.
- **Señal de alarma:** 3.6 mA / 21.0 mA.
- **Rango de temperatura:** Ambiente y proceso $-40 + 85$ °C.
- **Rango de presión:** 0 – 1500 PSI.
- **Conexión tubería:** Macho NPT $\frac{1}{4}$ ", Hembra NPT $\frac{1}{4}$ ".

La Figura 64 muestra el sensor de presión Allen Bradley 836 E.



Figura 64. Sensor de presión Allen Bradley 836 E

Fuente: (Rockwell A. B., 2008)

- **Medida de Nivel.**

Se debe monitorear el nivel existente en los diferentes tanques a lo largo de la línea de conducción, el rango de medida para todos los tanques es de cero cinco metros.

Se debe contar con sensores en los siguientes puntos. Tanque del cerro Mocochal, tanque de planta Río de Oro, tanque de planta El Ceibal, tanque Cruz Verde, tanque Intermedio. Con lo que es necesario contar con cinco sensores de nivel. El sensor seleccionado que cumple con las características presentadas en los puntos presentados es el Siemens, Ultrasonic Transmitters, The Probe y presenta las siguientes especificaciones.

- **Energía:** 12 a 30 V DC, 0.1 A.
- **Ubicación:** Interior, exterior, altitud máxima 2000 msnm, temperatura de operación -40 a 60 °C, protección NEMA 4X, carcasa IP 65.
- **Rango de medida:** Desde 0.25 m – 5 m, solo líquidos.

- **Ángulo de Haz:** 10 grados.

- **Señal de salida:**
 - i. Rango: 4 a 20 mA.
 - ii. Precisión: 0.25 % de toda la escala.
 - iii. Resolución: 3 mm o 0.125'.
 - iv. Carga de 600 ohmios máximo a 24 V DC.
 - v. Cable de par torcido 28 AWG.

La Figura 65 muestra la ubicación en tanque para monitorear el nivel usando el sensor Siemens The Probe.

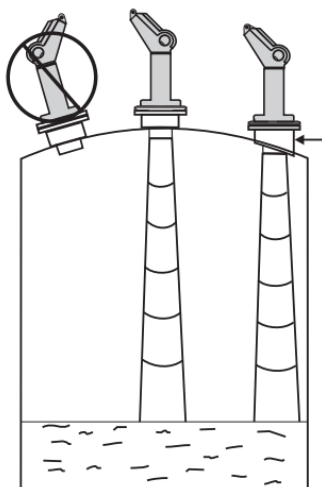


Figura 65. Sensor de nivel Siemens ultrasónico The Probe, instalación del transmisor.

Fuente: (SIEMENS, 2006)

- **Medida de Temperatura.**

Los sensores a usar para medir la temperatura están actualmente instalados en cada uno de los motores eléctricos ubicados en sus devanados, existentes en las estaciones de

bombeo, como se detalló en apartados anteriores estos instrumentos son del tipo PT100 y tienen un rango de respuesta de 4 a 20 mA, Se cuenta con los siguientes sensores:

- i. Estación Caza Lagarto tres sensores de temperatura con rango de medida de 20 a 300 °C.
- ii. Estación Río de Oro dos sensores de temperatura con rango de medida de 20 a 250 °C.
- iii. Estación El Ceibal cuatro sensores de temperatura con rango de medida de 20 a 250 °C.

3.5.5. Cálculos preliminares necesarios para cada una de las señales de instrumentación.

- **Sensor de caudal Sparling Tigermag EP FM656.**

Este instrumento será usado como transmisor de caudal y se trabajara con las siguientes señales y rangos de medida.

- i. Tubería de 400 mm, rango de 0 a 18000 GPM / 1200 LPS / 4 a 20 mA.
- ii. Tubería de 450 mm, rango de 0 a 22000 GPM / 1460 LPS / 4 a 20 mA.
- iii. Tubería de 500 mm, rango de 0 a 29000 GPM / 1930 LPS / 4 a 20 mA.
- iv. Tubería de 600 mm, rango de 0 a 42000 GPM / 2800 LPS / 4 a 20 mA.

Las ecuaciones de respuesta para cada instrumento se determinan de la siguiente manera.

$$y = m x + b \text{ (ecuacion general de la recta)}$$

$$m = \frac{I2 - I1}{Q2 - Q1} = \frac{20 - 4}{1200} = 0.0133 ; b = I1 = 4$$

$$I = 0.0133 * Q + 4 \text{ (ec sensor 400 m)}$$

$$I = 0.011 * Q + 4 \text{ (ec sensor 450 m)}$$

$$I = 0.0082 * Q + 4 \text{ (ec sensor 500 m)}$$

$$I = 0.0057 * Q + 4 \text{ (ec sensor 600 m)}$$

En las ecuaciones de respuesta de cada sensor presentadas, se identifica a las variables como, I: corriente de respuesta del sensor en mA, Q: caudal medido por el sensor.

La Figura 66 muestra gráficamente la respuesta del sensor de caudal Sparling FM 656 para una tubería de diámetro 400 mm. En el eje Y la respuesta de corriente en mA, en función de la variable caudal en el eje X medida en LPS.

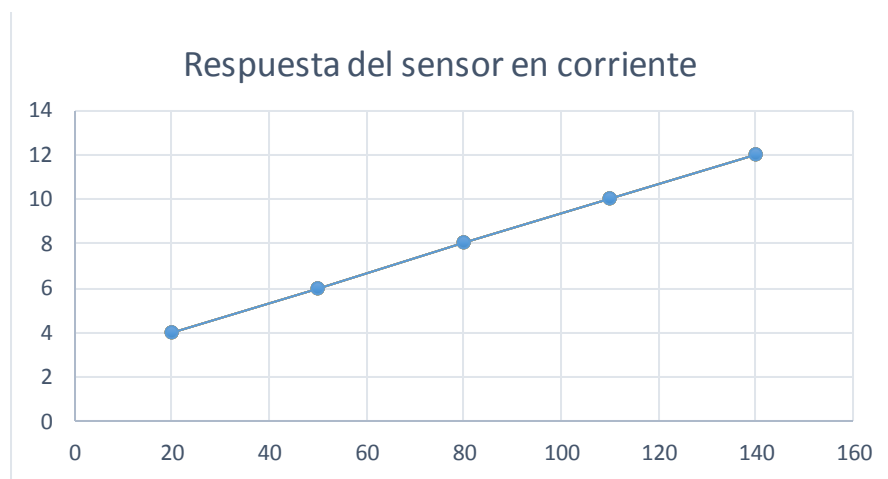


Figura 66. Respuesta del sensor Sparling para 400 mm.

- **Sensor de caudal Siemens F US SONO 3100.**

Este sensor tiene un rango de medida de 0 a 1400 LPS para una tubería de 800 mm de diámetro y una respuesta en corriente de 4 a 20 mA.

$$y = m x + b \text{ (ecuacion general de la recta)}$$

$$m = \frac{I_2 - I_1}{Q_2 - Q_1} = \frac{20 - 4}{1400} = 0.0133 ; b = I_1 = 4$$

$$I = 0.0114 * Q + 4 \text{ (ec sensor 800 m)}$$

En las ecuaciones de respuesta de cada sensor presentadas, se identifica a las variables como, I: corriente de respuesta del sensor en mA, Q: caudal medido por el sensor.

La Figura 67 muestra gráficamente la respuesta del sensor de caudal Siemens F US SONO 3100 para una tubería de diámetro 800 mm. En el eje Y la respuesta de corriente en mA, en función de la variable caudal en el eje X medida en LPS.

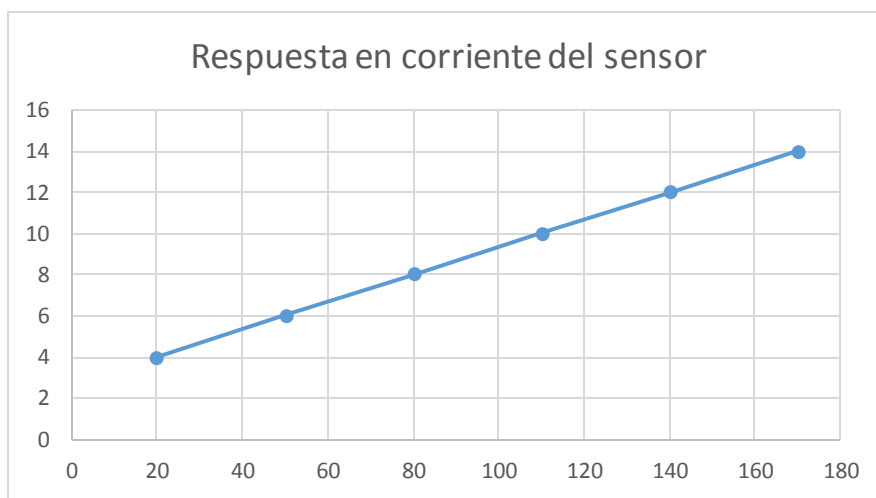


Figura 67. Respuesta del sensor Siemens para 800 mm.

- **Sensor de presión Allen Bradley 836 E.**

Este sensor tiene un rango de medida de 0 a 1500 PSI y una respuesta en corriente de 4 a 20 mA. A continuación se desarrolla la ecuación de respuesta de este sensor.

$$y = m x + b \text{ (ecuacion general de la recta)}$$

$$m = \frac{I_2 - I_1}{P_2 - P_1} = \frac{20 - 4}{1500} = 0.01066 ; b = I_1 = 4$$

$$I = 0.01066 * P + 4 \text{ (ec sensor)}$$

En las ecuaciones de respuesta de cada sensor presentadas, se identifica a las variables como, I: corriente de respuesta del sensor en mA, P: presión medida por el sensor.

La Figura 68 muestra gráficamente la respuesta del sensor de presión Allen Bradley 836 E para un rango de medida de 0 a 1500 PSI. En el eje Y la respuesta de corriente en mA, en función de la variable presión en el eje X medida en PSI.

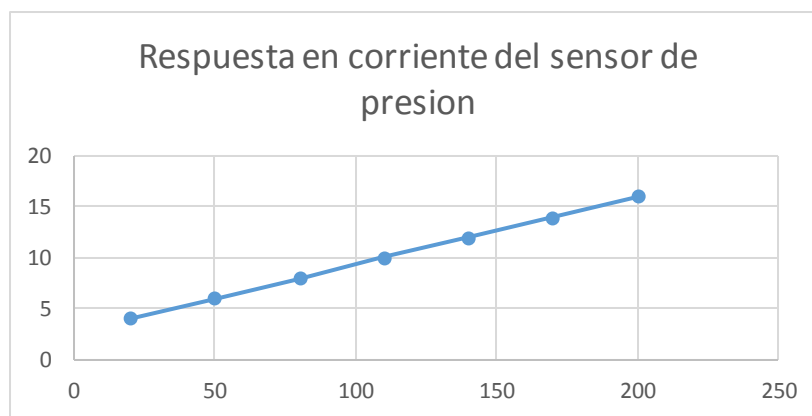


Figura 68. Respuesta del sensor de presión 836 E de AB.

- **Sensor de nivel Siemens Ultrasonic Transmitter The Probe.**

Este sensor tiene un rango de medida de 0.25 m a 5 m y una respuesta en corriente de 4 a 20 mA, con una resolución de 3 mm. A continuación se desarrolla la ecuación de respuesta de este sensor.

$$y = m x + b \text{ (ecuacion general de la recta)}$$

$$m = \frac{I_2 - I_1}{H_2 - H_1} = \frac{20 - 4}{5 - 0.25} = 3.368 ; b = I_1 = 4$$

$$I = 3.368 * H + 4 \text{ (ec sensor)}$$

En las ecuaciones de respuesta de cada sensor presentadas, se identifica a las variables como, I: corriente de respuesta del sensor en mA, H: altura medida por el sensor.

La Figura 69 muestra gráficamente la respuesta del sensor de nivel Siemens The Probe para un rango de medida de 0.25 a 5.0 m. En el eje Y la respuesta de corriente en mA, en función de la variable nivel en el eje X medida en metros.

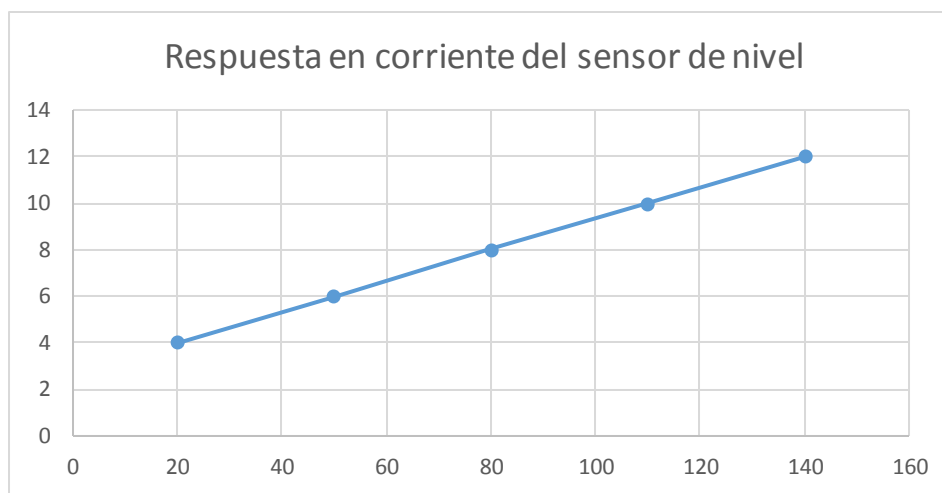


Figura 69. Respuesta del sensor de nivel Siemens The Probe.

- **Sensores de temperatura instalados en los devanados del motor.**
 - i. Sensor de temperatura, rango de medida de 20 a 300 °C y respuesta de 4 a 20 mA.

- ii. Sensor de temperatura, rango de medida de 20 a 250 °C y respuesta 4 a 20 mA.
- iii. Sensor de temperatura, rango de medida de 20 a 250 °C y respuesta de 4 a 20 mA.

$$y = m x + b \text{ (ecuacion general de la recta)}$$

$$m = \frac{I_2 - I_1}{T_2 - T_1} = \frac{20 - 4}{250 - 20} = 0.07 ; b = I_1 = 4$$

$$I = 0.07 * T + 4 \text{ (ec sensor 20 a 250)}$$

$$I = 0.057 * T + 4 \text{ (ec sensor 20 a 300)}$$

La Ilustración 70 muestra gráficamente la respuesta del sensor de temperatura, para un rango de medida de 20 a 250 °C. En el eje Y la respuesta de corriente en mA, en función de la variable temperatura en el eje X medida en °C.

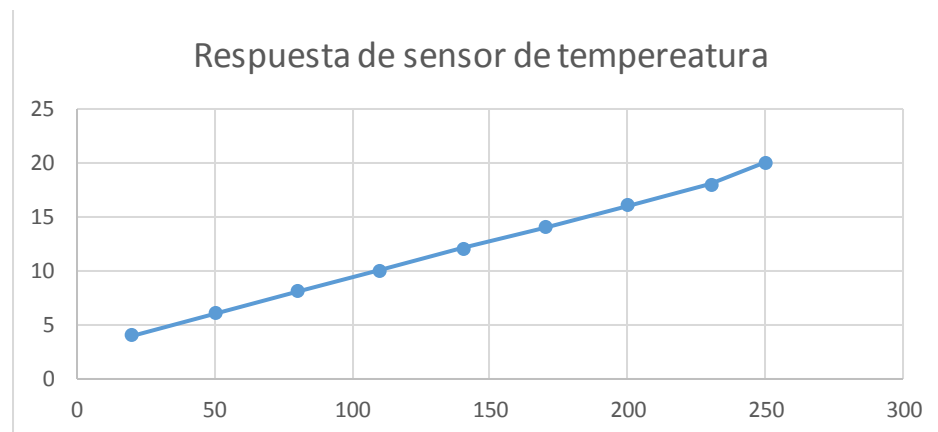


Figura 70: Respuesta en corriente del sensor de temperatura instalado en los motores.

3.5.6. Análisis de instrumentos existentes en el mercado.

- **Medidores de caudal.**

Se realiza una comparación entre dos medidores de caudal existentes en el mercado y que cumplen todos los requerimientos técnicos para poder ser usados dentro de este sistema de instrumentación, la Tabla 14 muestra una comparación entre dos medidores de caudal existentes en el mercado.

Tabla 14. Comparación entre sensores de caudal de los fabricantes Siemens y Sparling.

Sensor	Sparling Tigermag EP	Siemens F US SONO 3100
Rango de lectura	0 a 1200 LPS en 400 mm. 0 a 1900 LPS en 500 mm. 0 a 2800 LPS en 600 mm.	0 a 1400 LPS en 800 mm.
Rango de velocidad	0 a 1 m/s. 0 a 10 m/s.	0 a 1 m/s. 0 a 10 m/s.
Respuesta	Analógica 0/4 – 20 mA. Frecuencia y pulso escalado, 24 V DC con ancho de 12.5/25/50/100 ms.	Analógica 0/4 – 20 mA. Frecuencia y pulso aislado, 0 – 10 KHz, constante de tiempo de 0.8 – 30 s. 15 V DC.
Detección de fallos	Fallas a Colector abierto por falta de flujo o excesos.	Fallas de dirección de flujo salida a relé.
Protecciones y Normas	NEMA-4X & NEMA-7 a prueba de explosión.	IP 67, IEC 529, vibración mecánica de 0 – 800 Hz.
Precio Internacional	1560.00 \$	2250.00 \$

- **Medidor de Presión.**

Se realiza una comparación entre tres medidores de presión existentes en el mercado y que cumplen todos los requerimientos técnicos para poder ser usados dentro de este sistema de instrumentación, la Tabla 15 muestra una comparación entre tres medidores de presión existentes en el mercado.

Tabla 15. Comparación entre sensores de presión de los fabricantes Siemens y Allen Bradley.

Sensor	AB 836E pantalla	AB 836E sin pantalla	Siemens P DS III Sitrans, pantalla.
Rango de medida.	0 a 1500 PSI. 0 a 103 bares.	0 a 1500 PSI. 0 a 103 bares.	0 a 900 PSI. 0 a 63 bares.
Respuesta.	4 a 20 mA. Switch PNP.	4 a 20 mA.	4 a 20 mA.
Temperatura.	-40 + 85 °C	-25 + 100 °C	-40 + 85 °C
Precio.	260.00 \$	150.00 \$	320.00 \$

- **Medidor de nivel.**

Se realiza una comparación entre tres medidores de nivel existentes en el mercado y que cumplen todos los requerimientos técnicos para poder ser usados dentro de este sistema de instrumentación, la Tabla 16 muestra una comparación entre tres medidores de presión existentes en el mercado.

Tabla 16. Comparación entre sensores de nivel de los fabricantes Allen Bradley y Siemens.

Sensor	AB 840E	Siemens SITRANS Probe, pantalla	Siemens SITRANS Probe, sin pantalla
Rango de medida.	0.35 a 5m	0.25 a 8m	0.25 a 5m
Angulo de Haz.	10°	10°	10°
Normas y protecciones	IP 66/67	NEMA 4, NEMA 6, IP 67/68	NEMA 4X, carcaza IP 65.
Señal de respuesta.	4 a 20 mA	4 a 20 mA	4 a 20 mA
Precio.	\$ 135.00	\$ 800.00	\$ 300.00

3.6. Ingeniería básica para subsistema de control.

3.6.1. Análisis y revisión de elementos de control necesarios y existentes.

- **Control de arranque de motores.**

La estación de bombeo Caza Lagarto posee tres arrancadores suaves marca ABB usados para arrancar y parar los motores existentes en la planta. Este elemento ha sido detallado en el apartado de ingeniería conceptual, por lo tanto se realizara un análisis básico del mismo.

- Arrancador Suave SSM de ABB usado en motores trifásicos de media tensión. Para los motores de caza lagarto el arrancador debe poseer las siguientes características, 2300 V, 600 HP, 200 a 400 A. La estación de bombeo Caza Lagarto cuenta con tres arrancadores suaves para la operación de los tres grupos de bombeo existentes.
- La estación de bombeo El Ceibal posee cuatro grupos de bombeo, los cuales poseen un arranque mediante autotransformador y este debe ser reemplazado por arrancadores suaves que permitan manejar un motor trifásico de media tensión de 940 HP, 6800 V y una corriente de 200 a 400 A.
- La estación de bombeo Río posee dos grupos de bombeo los cuales poseen su arranque y control mediante dos variadores de frecuencia de la marca Schneider modelo Altivar 61, usado para motores trifásicos de baja tensión y posee las siguientes características, 600 HP, 440 V, 600 a 700 A de corriente de operación.

- **Controlador lógico programable.**

Para este punto se debe contar con Controladores Lógicos Programables, los cuales permitan integrar el sistema mediante una red de comunicación, monitorear las variables

existentes en la línea de conducción con el objetivo de evitar fugas o derrames en tanques de almacenamiento o distribución, automatizar los procesos en estaciones de bombeo o tanques en fin optimizar el sistema de conducción de aguas.

- Para la línea de conducción Caza Lagarto – El Colorado se ha establecido seis puntos para el control y monitoreo del proceso de conducción, por lo tanto se debe contar con controladores en los siguientes puntos, Caza Lagarto, Mocochoal, Loma Blanca, Río de Oro, Las Palmas y El Colorado. Siendo un total de seis controladores para esta línea de conducción.
- Línea de conducción El Ceibal – Azúa, para este tramo se ha establecido cuatro puntos para el control y monitoreo del proceso de conducción, y se debe contar con controladores en los siguientes puntos, El Ceibal, Cruz Verde, Intermedio y Azúa. Siendo un total de 4 controladores para este tramo.

Los controladores también serán encargados de automatizar el proceso de bombeo en cada estación, monitorear las señales de temperatura, nivel, caudal y presión para asegurar la correcta operación de los grupos de bombeo en la estación, siempre considerando a la bomba como elemento final de control.

- **Unidad de bombeo motor/bomba como elemento final de control.**

Cada estación de bombeo cuenta con motores que difieren de los presentes en otra estación, tanto en tensión como en potencia, las características de cada motor han sido detalladas en el apartado de ingeniería conceptual, por lo tanto se realizara una descripción básica.

- Estación de bombeo Caza Lagarto, la estación cuenta con tres motores eléctricos marca US MOTORS de la línea TITAN, y sus características de operación son, 2300 V, 600 HP, 1790 rpm y 60 Hz.

- Estación de bombeo Río de Oro, cuenta con dos motores eléctricos marca US MOTORS de la línea TITAN, las características de operación son, 440 V, 600 HP, 1175 rpm y 60 Hz.
- Estación de bombeo El Ceibal, la estación posee cuatro motores eléctricos de marca ABB AC MACHINE, los cuales poseen las siguientes características, 6800 V, 940 HP, 1786 rpm, 60 Hz.

3.6.2. Elaboración de diagramas de control para cada uno de los elementos seleccionados.

Los siguientes diagramas muestran la manera en que los diferentes sistemas están interconectados para que el sistema de automatización cumpla con todos los requerimientos establecidos como son control de arranque de bombas, monitoreo y control de variables existentes en el proceso, detección de fugas en la conducción e integración de los procesos.

- La Figura 71 muestra el diagrama de control necesario en la estación de bombeo Caza Lagarto, se destaca las señales de control, potencia, proceso, instrumentación y software para la comunicación.

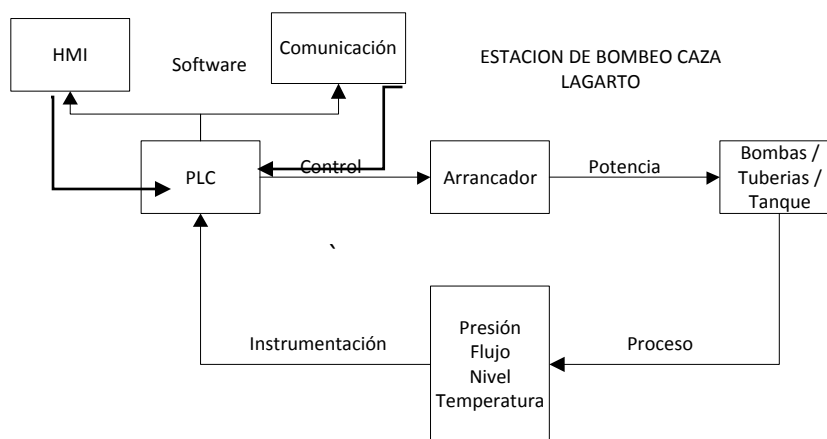


Figura 71. Diagrama de control para la automatización de la estación Caza Lagarto.

- El diagrama de control para el tanque del cerro Mocochoal abarca los sistemas de, instrumentación, control y comunicación y se muestra en la Figura 72.

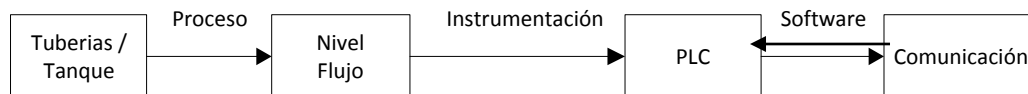


Figura 72. Diagrama de control para tanque del cerro Mocochoal.

Los diagramas de control para los puntos en Loma Blanca, Las Palmas y El colorado son igual que el diagrama del tanque Mocochoal, tomando que en estos puntos no existe medición de nivel.

- La estación de bombeo Río de Oro maneja los mismos procesos y variables presentes en la estación Caza Lagarto, por lo tanto el diagrama de control es muy similar al diagrama de la estación mencionada y se lo muestra en la Figura 73. El diagrama presenta las señales de monitoreo y comunicación en software, señal de control desde el controlador al arrancador, la señal de potencia desde el arrancador hacia el grupo de bombeo, se mide las variables de caudal, presión, nivel y temperatura presentes en la bomba, motor, tanque y tuberías para ser interpretados por el controlador y realizar las diferentes acciones de control programadas.

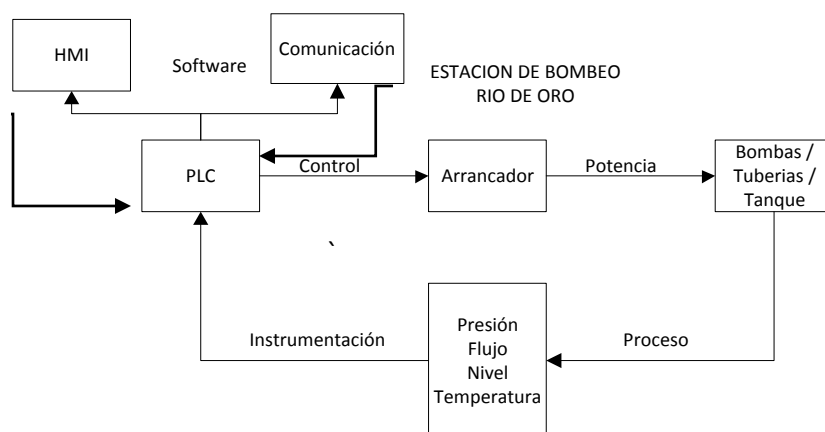


Figura 73. Diagrama de control de la estación Río de Oro.

- La estación de bombeo El Ceibal al manejar todos los elementos de la estación Río de Oro, se puede determinar que el diagrama de control para estas estaciones es el mismo y se lo muestra en la Figura 73.
- El acueducto El Ceibal – Azúa cuenta con los siguientes puntos en la conducción, Tanque Cruz Verde, Tanque Intermedio y Estación Azúa, los cuales poseen las mismas características y elementos y son mostrados en el diagrama de control de la Figura 74.

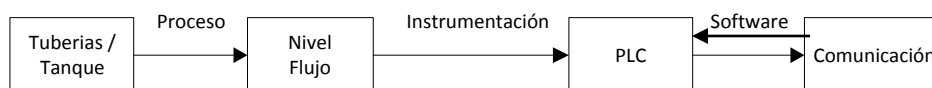


Figura 74. Diagrama de control de Cruz Verde, Intermedio, Azúa.

3.6.3. Elaboración de diagramas unifilares para instalaciones eléctricas de controladores y actuadores.

Los diagramas de las conexiones eléctricas presentados son los necesarios para la instalación de los Arrancadores Suaves y Variadores de frecuencia existentes en las estaciones de bombeo Caza Lagarto y Río de Oro, mientras que para la estación El Ceibal se usara arrancadores suaves del mismo tipo. En los diagramas se detalla en control y conexiones de estos equipos y conexión con los motores eléctricos trifásicos, es decir se separa el circuito de control del de potencia. La Figura 3.40 detalla las conexiones para el arrancador suave ABB SSM de 2300 V / 600 HP y el control de los motores presentes en la estación de bombeo Caza Lagarto, los elementos presentes en la figura se detallan a continuación.

- i. CCT: Transformados para el circuito de control.
- ii. CHFU: Fusible Primario para CCT.
- iii. CXFU: Fusible Secundario para CCT.
- iv. B: Contactor de Bypass.

- v. OL: Relé de sobrecargas.
- vi. Botones de inicio y paro. STAR/STOP.

El diagrama para los arrancadores de la estación El Ceibal es el mismo de la Figura 75 con la diferencia que el arrancador de ser para 6800 V / 940 HP. La Figura 76 muestra el diagrama de conexiones eléctricas para el variador de frecuencia Altivar 61 de Schneider, sus características de operación son 440 V / 600 HP, de igual manera se detalla el circuito de potencia y de control de manera separada, estos planos han sido elaborados por el autor del proyecto.

- i. A1: ATV61 Drive.
- ii. F1: Fusible.
- iii. FU: Protección corto circuito.
- iv. S1: Botón de parada emergencia.
- v. S2: Botón de inicio.
- vi. AI1+/- | AI2+/-: Entradas analógicas al variador.
- vii. AO1: Salida analógica del variador.

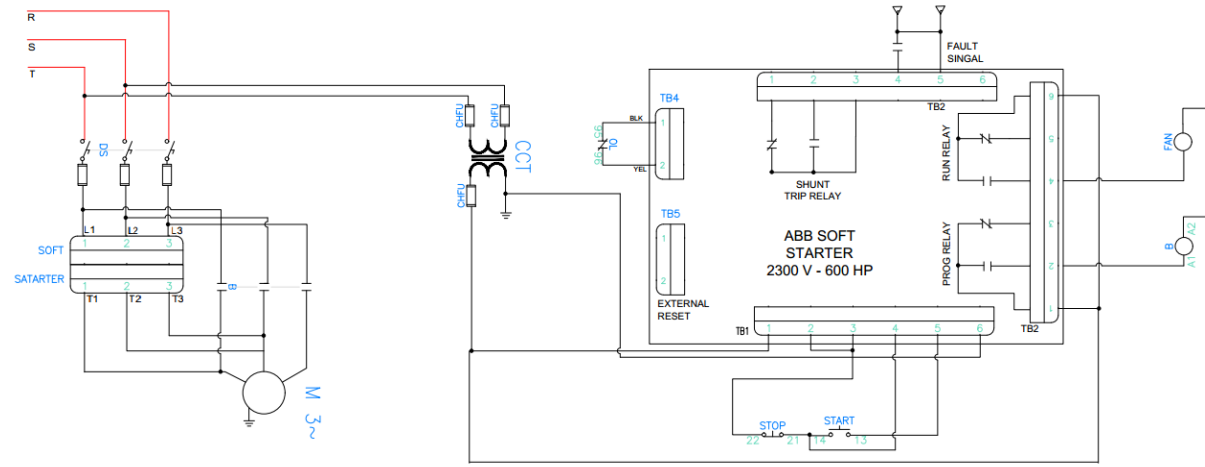


Figura 75. ABB Soft Starter 2300 V - 600 HP, conexiones eléctricas

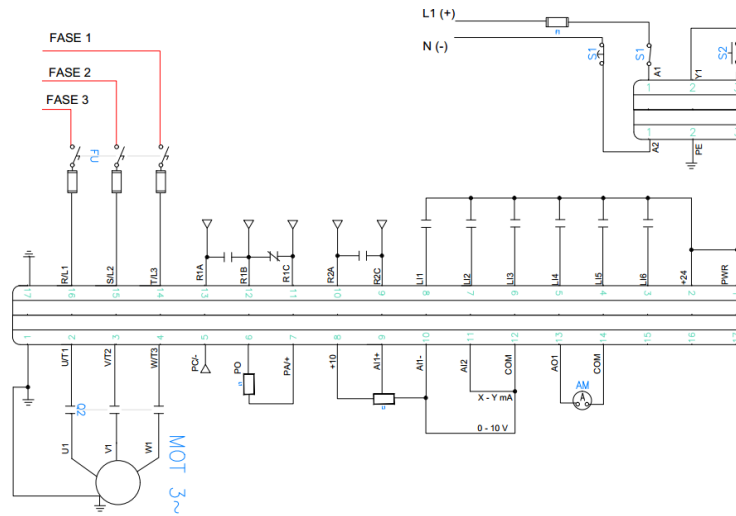


Figura 76. Diagrama de conexiones eléctricas para variador de frecuencia Schneider Altivar 61.

3.6.4. Cálculos preliminares necesarios para acciones de control.

- **Control de fugas en la línea de impulsión.**

Para evaluar si existe fugas en un tramo de la conducción se debe considerar la ecuación de la continuidad presentada en apartados anteriores, por lo tanto se determina que si entre dos puntos A y B, por ejemplo para Caza Lagarto – El Colorado, entre Mocochoal y Loma Blanca existe una diferencia de caudal mayor al 5 % durante un tiempo de 60 segundos se considera que existe fugas en la tubería e inmediatamente se deberá apagar la estación de bombeo Caza Lagarto y cerrar la línea de descarga del tanque Mocochoal. Los sensores de caudal Sparling FM656 al ser de diferentes diámetros poseen diferentes rangos de medida por lo tanto es importante limitar su rango mediante la configuración y programación de estos teniendo en cuenta que todos manejen un rango de medida de 0 a 1200 LPS con una respuesta de 4 a 20 mA en corriente continua. Con lo que la ecuación de respuesta de todos los sensores presentes en el acueducto Caza Lagarto – El Colorado, tomando en cuenta que I: respuesta en corriente del sensor y Q: caudal medido por el instrumento, será:

$$I = 0.0133 * Q + 4 \text{ (ec sensor caudal)}$$

Al considerar una caída de caudal entre dos puntos de la tubería, suponiendo que el caudal existente es de 300 LPS, se tendría una corriente de respuesta en el punto A de:

$$I = 0.0133 * 300 + 4 = 7.99 \text{ mA}$$

Si existiese una caída del 5% el valor de caudal en el punto B se tendría que.

$$Q_b = 300 * 0.95 = 285 \text{ LPS}$$

$$I = 0.0133 * 285 + 4 = 7.79 \text{ mA}$$

En lo que los controladores consideraran como una fuga en las tuberías y apagarían de manera automática la estación de bombeo más próxima y que suministra caudal a este tramo.

Para el acueducto El Ceibal – Manta el sensor de caudal Siemens F US SONO 3100 tiene un rango de medida de 0 a 1400 LPS en todos a lo largo de la conducción, por lo tanto no es necesario limitar su rango, la ecuación de respuesta de estos sensores, tomando en cuenta que I: respuesta en corriente del sensor y Q: caudal medido por el instrumentos es:

$$I = 0.0114 * Q + 4 \text{ (ec sensor caudal)}$$

De igual manera para detectar una fuga en un tramo de la tubería es necesario evaluar la ecuación de continuidad, como ejemplo se toma que el caudal en el punto A es de 500 LPS, por lo tanto la señal de corriente de este sensor es.

$$I = 0.0114 * Q + 4 = 9.7 \text{ mA}$$

Si existiese una caída del 5% el valor de caudal en el punto B se tendría que.

$$Qb = 500 * 0.95 = 475 \text{ LPS}$$

$$I = 0.0114 * 475 + 4 = 9.415 \text{ mA}$$

En lo que los controladores consideraran como una fuga en las tuberías y apagarían de manera automática la estación de bombeo El Ceibal.

De detectarse una fuga en cualquier parte de la tubería se deberá cerrar las válvulas de cada tanque que permiten la descarga del mismo, con esto se aseguraría que no exista derrame en ninguna parte de la tubería.

- **Control de nivel para los tanques de almacenamiento.**

Todos los tanques existentes en los dos acueductos tienen una altura de 5 m, con diferente capacidad de almacenamiento, por lo tanto los puntos de control de nivel para estos tanques son 0.6 m y 4.6 m. Evitando que existan derrames o averías en las bombas.

La ecuación de respuesta de los sensores al tener un rango de medida de 0.25m a 5m con respuesta de 4 a 20 mA, siendo I: respuesta de sensor en corriente y H: altura o distancia medida por el instrumento.

$$I = 3.368 * H + 4 \text{ (ec sensor nivel)}$$

Los puntos críticos de nivel serán en:

$$I = 3.368 * 4.6 + 4 = 19.49 \text{ mA}$$

$$I = 3.368 * 0.4 + 4 = 5.347 \text{ mA}$$

El control de nivel se realiza de la siguiente manera, si la lectura es menor a 0.6 m la bomba no puede operar y se debe esperar que arranque con un nivel mínimo de 1.25 m, mientras que si el nivel es superior a 4.6 m se debe operar con la bomba de emergencia hasta que el nivel descienda de 4 m y operar de manera normal. Los puntos de 1.25 m y 4 m corresponden en la ecuación a:

$$I = 3.368 * 1.25 + 4 = 8.25 \text{ mA}$$

$$I = 3.368 * 4 + 4 = 17.47 \text{ mA}$$

- **Control de temperatura.**

Para el control de temperatura existente en los motores eléctricos se debe evaluar la ecuación de respuesta de los siguientes sensores, siendo I: corriente de respuesta del sensor y T, temperatura medida por el instrumento.

$$I = 0.07 * T + 4 \text{ (ec sensor 20 a 250)}$$

$$I = 0.057 * T + 4 \text{ (ec sensor 20 a 300)}$$

Para los motores de la estación Caza Lagarto, se considera que si la temperatura llega a 200 °C se debe apagar el motor hasta que la temperatura descienda a 80 °C y el motor pueda entrar nuevamente en operación. Los puntos críticos mencionados son:

$$I = 0.057 * 200 + 4 = 15.4 \text{ mA}$$

$$I = 0.057 * 80 + 4 = 8.56 \text{ mA}$$

Los motores de la estación de bombeo Río tienen los mismos puntos de temperatura para el control de esta variable, 200 °C y 80 °C pero el rango de temperatura es de 20 a 250 por lo que los puntos críticos son:

$$I = 0.07 * 200 + 4 = 18 \text{ mA}$$

$$I = 0.07 * 80 + 4 = 9.6 \text{ mA}$$

Por último los motores de la estación de bombeo El Ceibal poseen los siguientes puntos críticos 155 °C y 70 °C:

$$I = 0.07 * 155 + 4 = 14.85 \text{ mA}$$

$$I = 0.07 * 70 + 4 = 8.9 \text{ mA}$$

- **Control de arranque de los motores.**

Para visualizar la manera en que deben arrancar los motores de cada estación se debe revisar el siguiente diagrama de tiempos presentado en la Figura 77. El motor M1 inicia su operación, la rampa de aceleración dura 20 s, se espera un tiempo de 10 s y en 30 s M2 inicia con la misma rampa de aceleración hasta llegar a 50 s esperar 10 s y en 60 s M3 arranca con una rampa de aceleración de 20 segundos estableciendo que los motores trabajan de manera simultánea a partir de los 80 segundos. Dependiendo de la estación trabajarán tres, dos o un motor.

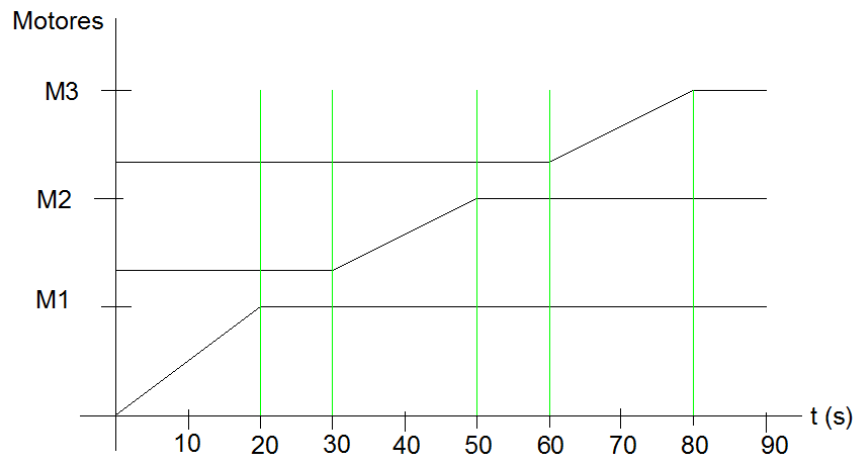


Figura 77. Diagrama de tiempos para arranque de los motores.

3.6.5. Selección y análisis de equipos de control según tecnología y prestaciones.

Para la selección de controladores usados en este sistema es necesario revisar lo determinado por los requerimientos, viabilidad y disponibilidad técnica, recursos y prestaciones ofrecidas como capacidad de realizar diversos lazos de control, capacidad de integrarse con diferentes marcas de sensores y software de monitoreo, plataforma de comunicación para la integración de los procesos, etc.

- **Arranque de motores (ABB, 2003), (Schneider, 2009).**

Los elementos de control a seleccionar para el arranque de los motores en cada estación de bombeo deben cumplir con las consideraciones de potencia, voltaje, protección para motores en su arranque y paro.

Los motores de la estación Caza Lagarto poseen un arranque mediante un arrancador suave ABB TYPE SSM para tensión media y posee las siguientes especificaciones.

- **Tipo de Carga:** Motores trifásicos AC de inducción o síncronos.
- **Voltaje, frecuencia y potencia de operación:** 2300 V / 200 HP – 2500 HP / 60 Hz.
- **Capacidad de sobrecarga:** 125 % en continuo, 500 % durante 60 segundos y 600 % durante 30 segundos.
- **Circuito de potencia:** 6, 12, 18 SCRs depende del modelo.
- **Rangos de voltaje pico inverso para SCR:** 6500 V – 21000 V, depende del modelo.
- **Enfriamiento:** Ventilador para NEMA 1 o NEMA 12.
- **Condiciones de ambiente:** 0 °C a 50 °C, a una altura sobre el nivel del mar de 1000m
- **Control:** Mediante 2 o 3 puertos a 120 VAC.
- **Contacto auxiliares:** 8 relés, 4 programables y un indicador de falla, los contactos son de 4 A y 240 VAC.
- **Aceleración:** Programable para torque de 0 – 100 % y tiempo de 1 a 120 segundos.
- **Desaceleración:** Programable de 1 a 60 segundos.
- **Comunicación:** RS232 y RS485.

Estos arrancadores son usados para tres motores US MOTORS TITAN LINE, por lo tanto es necesario usar tres de estos elementos, mientras que en la estación de bombeo El Ceibal existen cuatro motores ABB AC MACHINE, y que pueden ser controlados por este tipo de arrancadores suaves debido a que cumplen con todos los requerimientos y criterios

presentados, con la diferencia que los niveles de voltaje y potencia serán, 6800 V y de 300 HP a 7500 HP. Con este se determina que son necesarios siete arrancadores suaves de este tipo, tres para Caza Lagarto y cuatro para El Ceibal.

La estación de bombeo Río de Oro, posee dos motores US MOTORS de baja tensión, los cuales son controlados mediante un variador de frecuencia Schneider Altivar 61 y posee las siguientes especificaciones.

- **Voltaje, frecuencia y potencia de operación:** 380...480V / 600 HP / 60 Hz.
- **Tipo de Carga:** Motores trifásicos AC síncronos y asíncronos.
- **Corriente de línea:** 644 A para 480 V / 600 HP.
- **Corriente máxima:** 910.8 A durante 60 segundos en 3 fases.
- **Frecuencia nominal de conmutación:** 2.5 KHz.
- **Frecuencia de conmutación:** 2 a 8 KHz.
- **Control de velocidad:** 0.1 Hz a 500 Hz.
- **Voltaje de salida:** \leq Al voltaje de la fuente.
- **Rango de velocidad:** 1 a 100% en lazo abierto si retroalimentación de velocidad.
- **Torque de frenado:** 30 % sin resistencia de frenado, menor a 125 % con resistencia de frenado.
- **Entradas analógicas:** 2 Entradas configurables.
 - a. AI1 Voltaje de 0 a 10 V DC, $Z = 30 \text{ K}\Omega$, resolución de 11 bits.
 - b. AI2 Corriente de 0 a 20 mA, $Z = 242\Omega$, resolución de 11 bits.
- **Salidas analógicas:** AO1, Voltaje de 0 a 10 V DC, $Z = 470\Omega$, resolución de 10 bits.
- **Salidas discretas:** 2 Relés configurables, R2A/R2B, NO/NC, durabilidad de un millón de ciclos. 5 A – 30 V DC.
- **Entradas Discretas:** 7 Lógica negativa y positiva, configurable a 5 V o 16 V.
- **Grados de protección:** IP 41, IP 30, IP 00.
- **Condiciones de ambiente:** -10 a 50 °C. Altura máxima sobre el nivel del mar 3000 m.

- **Controladores lógicos programables.**

Los controladores a seleccionar son PLC, de la marca Allen Bradley línea Contrologix modelo 1756-L71, el cual cumple con todos los requerimientos expuestos, así como viabilidad y disponibilidad, compatibilidad con sensores y software de monitoreo, además de la capacidad de manejar comunicaciones industriales.

Las especificaciones de estos controladores cumplen con todos los criterios de selección, y son presentados a continuación.

- **Puertos de comunicación:** 1 puerto USB, programación, configuración, firmware.
- **Opciones de comunicación:** Ethernet IP, ControlNet, DeviceNet, I/O remotas, SynchLink.
- **Número máximo de conexiones soportadas:** 500.
- **Conexiones en red por módulo:**
 - i. 100 ControlNet (1756-CN2/A).
 - ii. 40 ControlNet (1756-CNB/D).
 - iii. 128 ControlNet (1756-CN2/B).
 - iv. 256 Ethernet/IP, 128 TCP (1756-EN2x).
 - v. 128 Ethernet/IP, 64 TCP (1756-ENBT).
- **Lenguajes de programación:** Relay Ladder, Structure Text, Function Block, SFC.
- **Memoria de usuario:** 2 MB.
- **Memoria de I/O:** 0.98 MB.

- **Número máximo de I/O digitales:** 12800
- **Número máximo de I/O analógicas:** 4000.
- **Disipación de energía:** 2.5 W.
- **Fuente de poder:** 24 V DC, 110/220 V AC / 50-60 Hz.
- **Temperatura de operación:** 0 a 60 °C.

El controlador seleccionado se muestra en la Figura 78. Es requerido un número de diez PLC para todo el sistema



Figura 78. PLC Allen Bradley, Contrologix, 1756-L71

Fuente: (Rockwell, Rockwell Automation, 2011)

3.6.6. Realizar un análisis de equipos de control disponibles en el mercado.

- **Arrancadores Suaves.**

Se elabora una comparación entre dos arrancadores suaves, los cuales cumplen las características y requerimientos establecidos, ABB SOFT STARTER SSM y

MOTORTRONICS SOLID STATE STARTER MVC, la Tabla 17 muestra esta comparación. Es importante aclarar que cualquier otro arrancador diferente al seleccionado representara un mayor costo del sistema debido a que las estaciones de bombeo cuentan con estos elementos en sus instalaciones.

Tabla 17. Comparación entre arrancadores suaves ABB Y MOTORTRONICS.

Arrancador	ABB SOFT STARTER SSM	MOTORTRONICS SOLID STATE STARTER MVC
Características operación.	de 2300 – 13800 V / 200 HP – 2500 HP / 60 Hz.	2300 – 15000 V / 200 HP – 10000 HP / 60 Hz.
Sobrecargas.	125 % en continuo, 500 % durante 60 segundos y 600 % durante 30 segundos.	120 % continuo, 500% durante 60 segundos, 600% durante 30 segundos.
Aceleración.	Torque 0 – 100 % y tiempo de 1 a 120 s. Programable	Torque 0 – 100 % y tiempo de 1 a 120 s. Programable
Desaceleración.	Programable de 1 a 60 s.	Programable de 1 a 60 s.
Precio.	4680.00 \$	4100.00 \$

- **Variadores de frecuencia.**

Se elabora una comparación entre dos variadores de frecuencia existentes en el mercado los cuales cumplen con todas las características y requerimientos establecidos, estos son SCHNEIDER ALTIVAR 61 Y AB POWER FLEX 755 AC DIRVE, la Tabla 18 muestra la comparación entre estos elementos, de igual manera es importante destacar que el variador seleccionado es el más conveniente económicamente debido a que ya se encuentra instalado en el sistema.

Tabla 18. Comparación entre variadores de frecuencia SCHNEIDER ALTIVAR 61 y AB POWERFLEX 755 AC DRIVE

Variador	ALTIVAR SCHNEIDER	61 AB POWER FLEX 755 AC DRIVE
Características de operación.	380 – 480 V / 600 HP / 60 Hz.	380 – 480 V / 200 - 1500 HP / 60 Hz.
Puertos de entrada y salida.	AI1 4 a 20 mA, AI2 0 a 10 V DC, AO1 4 a 20 mA.	AI1 0 a 10 V DC. AO1 4 a 20 mA.
Frecuencia de conmutación.	2 a 8 KHz	2 a 7 KHz
Grados de protección.	IP 41, IP30, IP00.	IP 00, IP 20, NEMA/UL.
Precio.	5793.00 \$	6125.00 \$

- **Controladores lógicos programables.**

Para los PLC Allen Bradley Control Logix 1756 y Siemens S7300 se realiza una comparación entre sus características más importantes con el objetivo de comprobar que se cumple con los requerimientos de cada sistema. La Tabla 19 muestra esta comparación.

Tabla 19. Comparación entre controladores de Allen Bradley y Siemens

PLC	AB CONTROLLOGIX 1756	SIEMENS S7 300
Fuente de poder	24 VDC / 120 V AC	24 VDC
Número de entradas y salidas.	1000 Digitales 128 analógicas.	512 Digitales. 64 Analógicas.
Memoria de usuario.	2 MB	3 MB
Precio.	3200.00 \$	2220.00 \$

3.7. Ingeniería Básica para subsistema de comunicación.

3.7.1. Análisis y revisión de plataformas de comunicación existentes.

Luego de revisar las diferentes plataformas de comunicación para las redes de comunicación industrial en el apartado de Ingeniería Conceptual, se determina que según

los controladores usados, la capacidad de transmitir datos en tiempo real, topología y escalabilidad, migración y compatibilidad con equipos de diferentes fabricantes, rendimiento y costo del sistema se decide que la plataforma de comunicación seleccionada es Ethernet IP industrial para los controladores AB Contrologix L71 – 1756.

A continuación se revisará las características de Ethernet IP del tipo industrial, además cada uno de los criterios de selección para esta plataforma. (Rockwell, 2009)

- **¿Para qué usará la plataforma de red?**

Las redes más antiguas se diseñaron para un solo uso. Ethernet/IP está diseñada para ser la red con el uso más amplio en todas las disciplinas de la planta, con la capacidad de manejar las comunicaciones en todos los niveles. Admite los siguientes usos:

- **Integración de sistemas/automatización de la empresa:** Uso exclusivo de IEEE 802.3 y TCP/IP/UDP estándar.
 - **HMI:** Ofrece un generoso ancho de banda para admitir aplicaciones HMI muy grandes y con muchos datos, además de soporte de casi todos los proveedores HMI.
 - **Programación y configuración de dispositivos:** Configuración mediante puerto Ethernet de la PC.
 - **Comunicación entre dispositivos similares:** Proporciona enclavamiento y transferencia de datos entre controladores, robots y otros.
 - **Sincronización de tiempo y sello de hora:** Coordinación submicrosegundos.
 - **Control de variadores:** Configuración, monitoreo y control coordinado.
 - **Control de seguridad:** Combina dispositivos estándar y de seguridad en la misma red.
 - **Control de movimiento:** Proporciona control de movimiento de precisión.
- **¿Qué dispositivos Ethernet/IP serán conectados a la red?**

- PLC Allen Bradley Contrologix L71 1756.
- PC personal, para estación HMI SCADA.
- Equipo de comunicación para transmisión.
- Switch Ethernet, interconexión entre dispositivos.

- **¿Se ajusta la tecnología al sistema de automatización?**

La Tabla 20 muestra cada una de las características técnicas necesarias para la aplicación de automatización con una red Ethernet IP industrial.

Tabla 20. Recursos y características de Ethernet IP del tipo industrial

Capacidad	Descripción
Topología	Ethernet soporta una topología tipo bus.
Distancia	Mediante par trenzado, 100m usado dentro de las estaciones. Mediante fibra óptica y medios no guiados, 10 Km para comunicación entre estaciones.
Capacidad	No existen limitaciones en la capacidad de la red.
Rendimiento	Regímenes de actualización de I/O < 1 ms. Prioriza el control en tiempo real.
Segmentación	Permite dividir una red grande en redes más pequeñas para eficiencia de la protección o la administración con métodos de segmentación estándar tales como subredes y VLAN. Red grande entre todos los procesos de los acueductos y subredes para cada proceso como estaciones de bombeo, interconexión o tanques en la línea de conducción.

Fuente: (Rockwell, 2009)

- **Característica de Ethernet/IP.**

Portabilidad en distintos vínculos de datos (Ethernet y WiFi) y capacidad de encaminamiento IP en toda la infraestructura en red a nivel de toda la planta y a través de WAN.

La conexión en puente y el encaminamiento transparentes no requieren activos adicionales tales como proxis o dispositivos de almacenamiento y reenvío.

La implementación flexible y segura del sistema permite una sencilla colaboración entre IT y fabricación para implementar y mantener la protección, la confiabilidad y la calidad de servicio en toda la empresa.

La arquitectura de red escalable y preparada para el futuro usa estándares abiertos, lo que permite implementar rápida y eficientemente nuevas tecnologías y capacidades.

- **Integración con la empresa.**

Se integra fácilmente en instalaciones Ethernet y TCP/IP existentes, sin necesidad de satisfacer requisitos, productos ni condiciones especiales.

Usa productos comerciales tales como switch/Router/firewall Ethernet, cámaras IP y telefonía IP, además de las tecnologías de portadora sobre línea de energía eléctrica e inalámbrica.

Las herramientas comunes para redes industriales y empresariales no requieren capacitación, herramientas ni conocimientos especiales para aprovechar las características ofrecidas. Segura su aplicación y sus redes para el futuro al aprovechar los adelantos en curso de Ethernet y TCP/IP estándar.

3.7.2. Elaboración de diagramas de arquitectura de comunicación.

A continuación se presenta los diagramas de arquitectura de comunicación para cada acueducto, destacando cada capa realizando una analogía con el modelo OSI, identificando los componentes principales y su estructura.

El modelo OSI presenta las siguientes siete capas: Aplicación, Presentación, Sesión, Transporte, Red, Enlace de Datos y Nivel Físico. La Figura 79 muestra la arquitectura de comunicación para el acueducto Caza Lagarto – El Colorado. La Figura 80 muestra la arquitectura de comunicación para el acueducto El Ceibal – Azúa.

- Capa física: La topología de red es tipo bus, los medios de transmisión serán guiados y no guiados.
- Enlace de datos: El protocolo a trabajar en este nivel es Ethernet IP del tipo industrial.
- Capa de red: Se encarga de identificar el enrutamiento existente entre las redes del sistema.
- Capa de transporte: La parte donde se realiza el direccionamiento IP para cada PC o PLC en la red.
- Capa de sesión: Se controla y mantiene el enlace establecido entre los diferentes elementos de la red como PLC o PC.
- Capa de presentación: La sintaxis que maneja los PLC y PC para interpretar los datos recibidos.
- Capa de aplicación: Para este caso es el Software SCADA el cual puede manejar cada uno de los servicios de las demás capas.

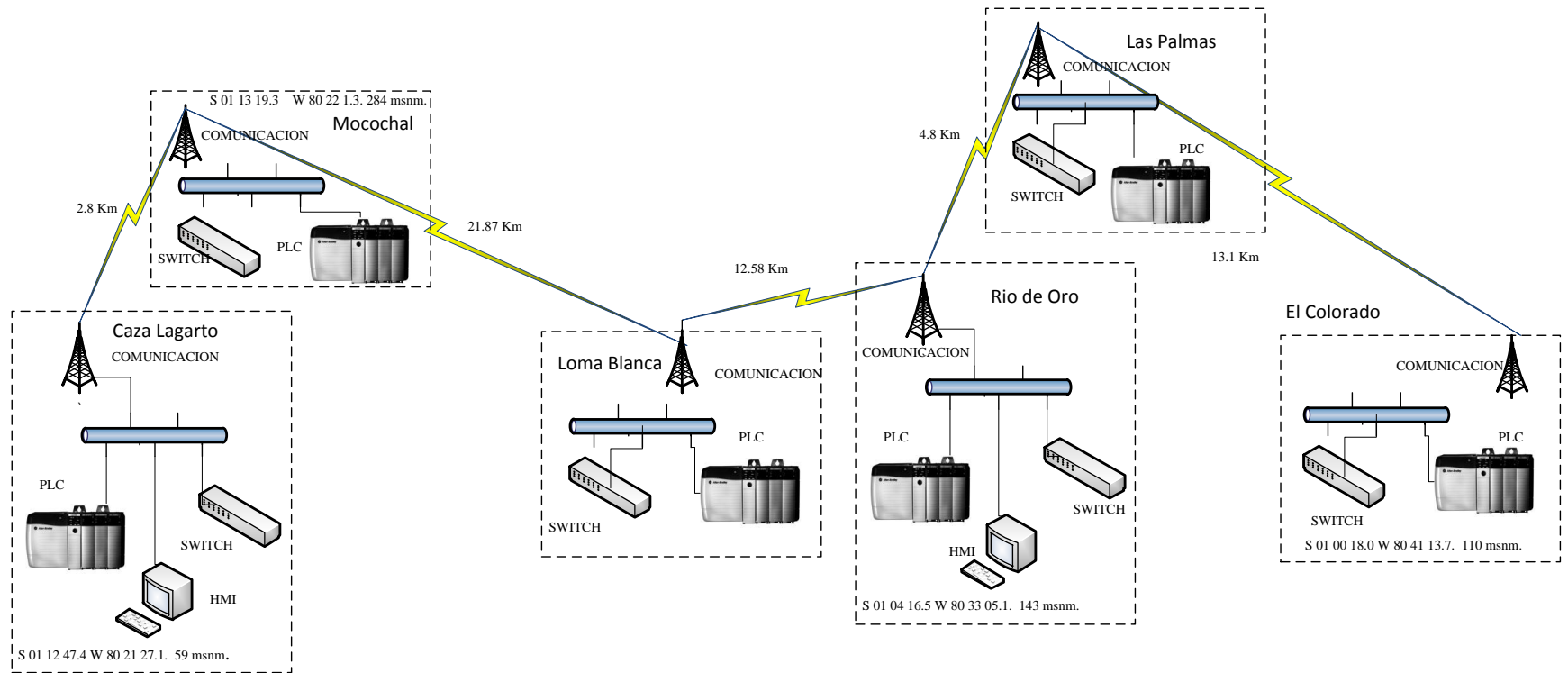


Figura 79. Esquema de arquitectura de comunicación para el acueducto Caza Lagarto – El Colorado.

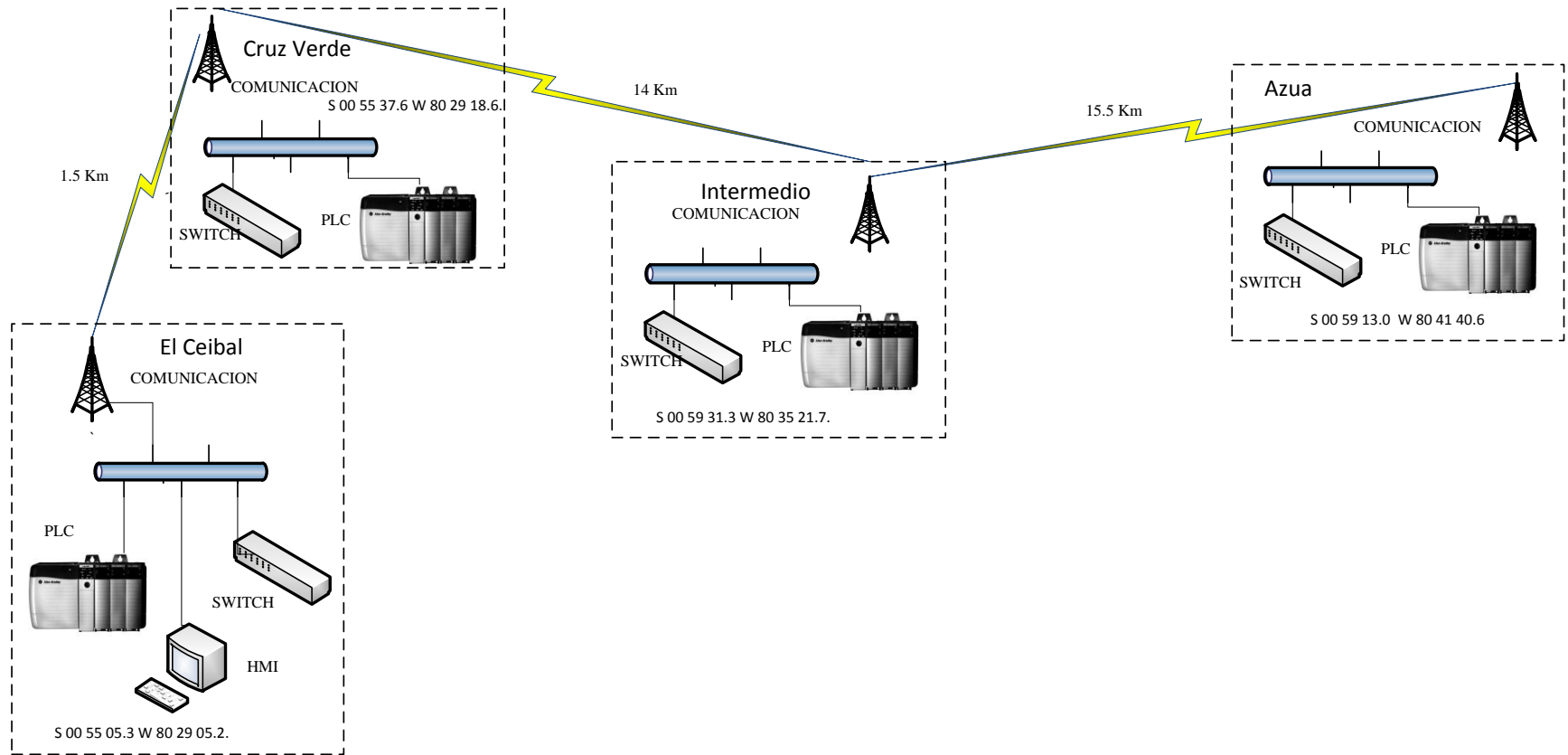


Figura 80. Esquema de arquitectura de control para el acueducto El Ceibal - Azúa.

3.7.3. Cálculos preliminares para el sistema de comunicación.

Con el objetivo de conocer la cantidad de datos que serán transmitidos y recibidos por cada una de las estaciones del sistema de supervisión y monitoreo es necesario calcular el tráfico de datos y la tasa de transmisión para cada sistema con esto se podrá saber cuál es el ancho de banda requerido para el sistema así como el valor del paquete de datos necesario para comunicar todo el sistema. Se puede considerar que como unidad de tiempo tanto para transmisión y recepción de los datos es cercano a un segundo.

- Calculo de tráfico para el sistema de comunicación del acueducto Caza Lagarto
 - El Colorado, usando un tiempo de actualización de red de un segundo, NUT = 1 s.
- i. Caza Lagarto: Los datos presentes en el controlador de la estación son del tipo real y binario con lo que sabiendo el número variables manejadas por el PLC se puede conocer la tasa de transferencia y el tráfico de datos para este punto.

$$\text{Trafico de datos: } 5 \text{ real} + \text{Binarios} = 5 * 2 B + 4 B = 14 \text{ Bytes}$$

$$\text{Tasa de transferencia: } 14 \text{ Bytes} * (60 * 60 * 24) = 1.153 \frac{MB}{\text{dia}}$$

- ii. Mocochoal: Los datos presentes en el controlador del tanque son del tipo real y binario con lo que sabiendo el número variables manejadas por el PLC se puede conocer la tasa de transferencia y el tráfico de datos para este punto.

$$\text{Trafico de datos: } 2 \text{ real} + \text{Binarios} = 2 * 2 B + 1 B = 5 \text{ Bytes}$$

$$\text{Tasa de transferencia: } 5 \text{ Bytes} * (60 * 60 * 24) = 0.412 \frac{MB}{\text{dia}}$$

- iii. Loma Blanca: Los datos presentes en el controlador de este punto son del tipo real con lo que sabiendo el número variables manejadas por el PLC se puede conocer la tasa de transferencia y el tráfico de datos para este punto.

$$\text{Trafico de datos: } 2 \text{ real} = 2 * 2 B = 4 \text{ Bytes}$$

$$\text{Tasa de transferencia: } 4 \text{ Bytes} * (60 * 60 * 24) = 0.396 \frac{MB}{dia}$$

- iv. Río de Oro: Los datos presentes en el controlador de la estación son del tipo real y binario con lo que sabiendo el número variables manejadas por el PLC se puede conocer la tasa de transferencia y el tráfico de datos para este punto.

$$\text{Trafico de datos: } 6 \text{ real} + \text{binarios} = 6 * 2 B + 4 B = 16 \text{ Bytes}$$

$$\text{Tasa de transferencia: } 16 \text{ Bytes} * (60 * 60 * 24) = 1.318 \frac{MB}{dia}$$

- v. Las Palmas: Los datos presentes en el controlador de este punto son del tipo real con lo que sabiendo el número variables manejadas por el PLC se puede conocer la tasa de transferencia y el tráfico de datos para este punto.

$$\text{Trafico de datos: } 1 \text{ real} = 1 * 2 B = 2 \text{ Bytes}$$

$$\text{Tasa de transferencia: } 2 \text{ Bytes} * (60 * 60 * 24) = 0.164 \frac{MB}{dia}$$

- vi. El Colorado: Los datos presentes en el controlador de este punto son del tipo real con lo que sabiendo el número variables manejadas por el PLC se puede conocer la tasa de transferencia y el tráfico de datos para este punto.

$$\text{Trafico de datos: } 1 \text{ real} = 1 * 2 B = 2 \text{ Bytes}$$

$$\text{Tasa de transferencia: } 2 \text{ Bytes} * (60 * 60 * 24) = 0.164 \frac{MB}{dia}$$

- vii. Central o maestra: Los datos presentes en el controlador de la estación central serán los recopilados por cada punto o controlador presente en el sistema además de datos para establecer acciones a las estaciones secundarias, sabiendo los valores calculados en cada estación se puede conocer la tasa de transferencia y el tráfico de datos para la estación central.

$$\text{Trafico de datos: } 2 + 2 + 16 + 4 + 5 + 14 + 4 = 47 \text{ Bytes}$$

$$\text{Tasa de transferencia: } 47 \text{ Bytes} * (60 * 60 * 24) = 3.872 \frac{MB}{\text{dia}}$$

– Calculo de tráfico para el sistema de comunicación del acueducto El Ceibal – Azúa, usando un tiempo de actualización de red de un segundo, NUT = 1 s.

- i. El Ceibal: Los datos presentes en el controlador de la estación son del tipo real y binario con lo que sabiendo el número variables manejadas por el PLC se puede conocer la tasa de transferencia y el tráfico de datos para este punto.

$$\text{Trafico de datos: } 7 \text{ real} + \text{Binarios} = 7 * 2 B + 4 B = 18 \text{ Bytes}$$

$$\text{Tasa de transferencia: } 18 \text{ Bytes} * (60 * 60 * 24) = 1.483 \frac{MB}{\text{dia}}$$

- ii. Cruz Verde: Los datos presentes en el controlador del tanque son del tipo real y binario con lo que sabiendo el número variables manejadas por el PLC se puede conocer la tasa de transferencia y el tráfico de datos para este punto.

$$\text{Trafico de datos: } 2 \text{ real} + \text{Binarios} = 2 * 2 B + 1 B = 5 \text{ Bytes}$$

$$\text{Tasa de transferencia: } 5 \text{ Bytes} * (60 * 60 * 24) = 0.412 \frac{MB}{\text{dia}}$$

- iii. Intermedio: Los datos presentes en el controlador del tanque son del tipo real y binario con lo que sabiendo el número variables manejadas por el PLC se puede conocer la tasa de transferencia y el tráfico de datos para este punto.

$$\text{Trafico de datos: } 3 \text{ real} + \text{Binarios} = 3 * 2 B + 1 B = 7 \text{ Bytes}$$

$$\text{Tasa de transferencia: } 7 \text{ Bytes} * (60 * 60 * 24) = 0.576 \frac{MB}{\text{dia}}$$

- iv. Azúa: Los datos presentes en el controlador de este punto son del tipo real con lo que sabiendo el número variables manejadas por el PLC se puede conocer la tasa de transferencia y el tráfico de datos para este punto.

$$\text{Trafico de datos: } 1 \text{ real} = 1 * 2 \text{ B} = 2 \text{ Bytes}$$

$$\text{Tasa de transferencia: } 2 \text{ Bytes} * (60 * 60 * 24) = 0.164 \frac{\text{MB}}{\text{dia}}$$

- v. Central: Los datos presentes en el controlador de la estación central serán los recopilados por cada punto o controlador presente en el sistema además de datos para establecer acciones a las estaciones secundarias, sabiendo los valores calculados en cada estación se puede conocer la tasa de transferencia y el tráfico de datos para la estación central.

$$\text{Trafico de datos: } 2 + 5 + 7 + 18 = 32 \text{ Bytes}$$

$$\text{Tasa de transferencia: } 32 \text{ Bytes} * (60 * 60 * 24) = 3.636 \frac{\text{MB}}{\text{dia}}$$

3.7.4. Selección y análisis de equipos de comunicación.

El sistema de comunicación viene a ser un complemento necesario para el funcionamiento e integración de toda la automatización del proceso, ya que por este sistema se transportará toda la información requerida tanto para el control de fugas como los datos usados por el sistema de supervisión y monitoreo, conociendo que la distancia entre controladores presentes en el proceso es de varios kilómetros la red de comunicación se vuelve bastante compleja al momento de diseñar forzando a que se use una variedad de tecnologías o plataformas de comunicación combinadas en un mismo sistema, es entonces que se encuentra que para el desarrollo de la red de comunicación se ha seleccionado la plataforma Orbit de MDS “Microwave Data System” del grupo General Electric la cual enfrenta los desafíos pensando en la siguiente generación de las comunicaciones inalámbricas y soluciones integradas en un rango de tecnologías desde red celular a

privada, mediante una banda licenciada o no así como también el uso de redes públicas o un híbrido de todas las mencionadas. La plataforma Orbit posee todas las características de un equipo industrial tanto en grados de protección como en seguridad y confiabilidad del sistema. Se puede citar tres beneficios claves en el uso de esta plataforma. **(Electric, 2012).**

- i. La seguridad exhaustiva permite al usuario conocer su actuales y futuros requerimientos.
- ii. Las capacidades de red extienden y simplifican la infraestructura de comunicación.
- iii. La configuración consistente agiliza los procesos de ingeniería, operación y cadena de suministros.

Dentro de las aplicaciones ofrecidas por esta plataforma se encuentran las Conducción de Agua involucrado medición de presión, nivel y caudal, SCADA de estaciones de bombeo y monitoreo y control de la línea de conducción.

La plataforma Orbit trabaja con las siguientes tecnológicas y sus respectivas características con la posibilidad de integrar todas.

- MDS Orbit MCR-WiFi: Maneja identificación SSID dentro del estándar IEEE 802.11 con un ancho de banda superior a 54 Mbps mediante un modelo de punto de acceso y estación.
- MDS Orbit MCR-900: Ancho de banda escalable y de baja latencia entre 125 Kbps, 250 Kbps, 500 Kbps, 1000 Kbps y 1250 Kbps, distancia entre estaciones mayores a 30 millas. Comunicación Punto – Multipunto, Punto – Punto o Store & Forward.
- MDS Orbit MCR-WiMAX: Ancho de banda de 30 Mbps, operación con sistemas MIMO de 2x2 mejora el rendimiento, certificación WiMAX.

- MDS Orbit MCR-4G: Combinación de redes públicas y privadas, opción de dos operadoras celulares, certificación global para redes celulares.

La Figura 81 muestra el equipo Orbit MDS con sus puertos e interfaces de operación, así como sus medidas.

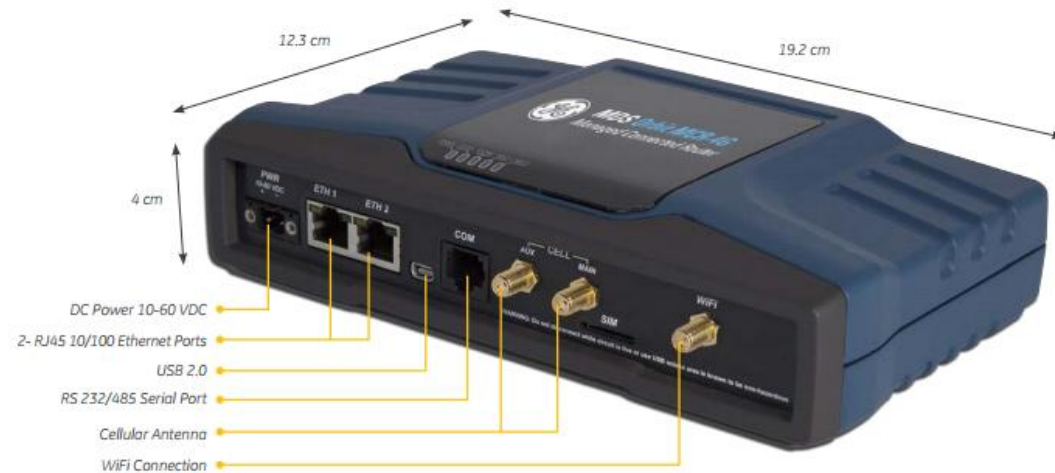


Figura 81. Plataforma de comunicación Orbit MDS, Digital Energy, puerto y dimensiones

Fuente: (Electric, 2012)

- **Especificaciones técnicas de la plataforma Orbit MDS.**

- **900 MHz ISM.**

- Tecnología: Punto - Multipunto.
- Modos de operación: Acces Point, Remoto, Store & Forward.
- Ancho de banda y sensibilidad: 125 Kbps / -105 dBm, 250 Kbps / -103 dBm, 500 Kbps / -99 dBm, 1 Mbps / -95 dBm, 1.25 Mbps / -95 dBm.
- Latencia promedio: Menor a 10 ms en un solo sentido.
- Impedancia de salida: 50Ω.
- Frecuencia: Banda 902 – 928 ISM.
- Método de propagación: FHSS, DTS.

- viii. Modulación: Niveles 2, 4 GFSK.
- ix. Tiempo de permanencia: 100 – 300 ms.
- x. Número de canales: Mayor a 80.
- xi. Potencia: 100 mW – 1 W.
- xii. Rango de distancia: Mayor a 30 millas.
- xiii. Máximo número de saltos: 8 Saltos.

– **Celular 3G.**

- i. Protocolo y frecuencia: GSM, GPRS, EDGE, HSPA+, 850/900/1800/1900 MHz.
- ii. Región y Portadora: Global, PTCRB, GCF.
- iii. Velocidad máxima: 21 Mbps de bajada y 5 Mbps de subida.
- iv. Velocidad típica: 5.5 Mbps de bajada y 0.3 Mbps de subida.

– **Celular 4G.**

- i. Protocolo y frecuencia: LTE, CDMA 700 MHz.
- ii. Región y Portadora: Versión americana.
- iii. Velocidad máxima: 50 Mbps de bajada y 25 Mbps de subida.
- iv. Velocidad típica: 21 Mbps de bajada y 10 Mbps de subida.

– **WiFi.**

- i. Estándar IEEE: 802.11 b/g/n.
- ii. Modos de operación: Acces Point, Estación.
- iii. Red AP: SSID Dual y configuración VLAN.
- iv. Seguridad: WPA/WPA2 PSK.
- v. Potencia: 20 dBm.

– **Protocolo.**

- i. Ethernet: IEEE 802.3 con TCP/IP, DHCP, ICMP, UDP, TCP, ARP, NTP, STFP.
- ii. Red: Capa 2 y Capa 3.
- iii. Serial: TCP Server, TCP Client, Modbus TCP a conversion RTU.

– **Interfaces Físicas.**

- i. Ethernet: 10/100 BaseT, RJ-45.
- ii. Serial: RS-232/RS-485/RJ-45.
- iii. USB: Puerto 2.0.
- iv. Puerto de Antenas: 900 ISM-TNC, WiFi, RP-SMA, Celular-SMA.
- v. LEDs: PWR, ETH, COM, NIC1, NIC2.

– **Eléctricas.**

- i. Voltaje de Entrada: 10 – 60 V DC.
- ii. Consumo de Energía: Entre 3.2 y 5.3 W según el modelo.

– **Mecánicas.**

- i. Carcaza de aluminio.
- ii. Dimensiones: H 4.4 x 20.3 W x 12.2 D cm.
- iii. Peso: Dos Libras.
- iv. Opciones de montaje: Riel DIN y Montaje estándar en panel.

– **Condiciones de ambiente.**

- i. Temperatura: -40 °C a 70 °C.
- ii. Humedad: 95% a 60 °C.

– **Manejo.**

- i. HTTP, HTTPS, SSH, NETCONF, consola local.
- ii. SNMPv1/v2/v3, MIB-II, MIB Empresarial.
- iii. Syslog y Syslog sobre TSL.
- iv. MDS PulseNET.

– **Certificados y aprobaciones de agencias.**

- i. FCC Parte 15.
- ii. IC.
- iii. ETSU / CE (3G y modelos WiFi).
- iv. CSA Clase 1, Div 2, UL 508, UL 1604.
- v. IEEE 1613.

– **Seguridad electrónica de Orbit.**

- i. Tunneling: IPsec VPN.
- ii. 900 ISM Encriptación: AES-CCM 128/256 bit con rotación.
- iii. Autenticación: RADIUS, PSK, EAP/TLS, PKI.
- iv. Firewall: Inspección de paquete segura, Lista de control de acceso, NAT.
- v. Certificados: X.3509, SCEP. PEM, DER.
- vi. Seguridad de arranque: Firmware firmado digitalmente.

3.7.5. Análisis de tecnologías de comunicación existentes en el mercado.

Una vez analizadas las opciones y ventajas que posee la plataforma de comunicación Orbit se revisa la posibilidad de implementación de la red mediante dos opciones con las tecnologías de red 3G celular o la banda de 900 MHz para radio enlaces. Se debe analizar

la infraestructura necesaria así como diferentes gastos para la implementación de este sistema.

- **Tecnología Celular 3G.**

La implementación de la red mediante esta tecnología para una aplicación M2M o máquina a máquina es sencilla debido a que la infraestructura de red ya existe así como la comunicación ente los puntos solicitados, por lo tanto para la implementación de esta red simplemente es necesario los equipos de comunicación de la plataforma Orbit y diferentes equipos de red como switch o Router conectados mediante paquete de datos a la red celular.

Durante la actividad de levantamiento de información se logró comprobar que la cobertura de las operadores celular Movistar y Claro está presente en todos los puntos de la línea de conducción determinando que es viable el uso de esta opción.

Los formas de implementación de esta red pueden presentarse de la siguiente manera, comunicación punto – punto, punto – multipunto vía celular APN, la cual mantiene las siguientes características, soporte para acoplamiento con modernas opciones celular APN, seguridad disponible incluyendo funcionalidades de firewall y VPN.

Mientras que la siguiente forma es comunicación segura vía túneles VPN, esta opción maneja estas características, IPsec túneles VPN comunicación encriptada entre los equipos MDS Orbit, protección firewall ante ataques de intrusión y soporte para múltiples túneles VPN por dispositivo. La Figura 82 muestra la topología de comunicación para las opciones presentadas.

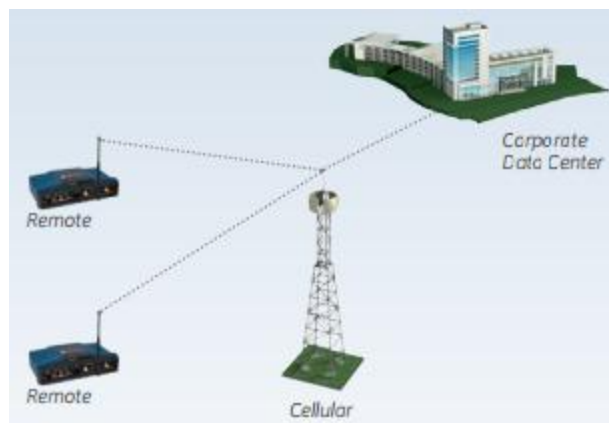


Figura 82. Topología de comunicación mediante el uso de plataforma Orbit con red celular 3G.

Fuente: (Electric, 2012)

A continuación la Tabla 21 muestra los equipos de la línea Orbit que trabajan por este método así como los precios referenciales para esta opción.

Tabla 21. Selección de equipos de operación banda celular de la plataforma Orbit

Plataforma Orbit MDS, comunicación celular		
Nombre	Descripción	Precio
MCR-4G + WiFi B/G/N	Orbit MCR MCR-4G + WiFi B/G/N, 2 Ethernet, 1 Serial	1350 \$
MCR-4G	Orbit MCR MCR-4G LTE 3G/4G VERZION, 2 Ethernet, 1 Serial	1150 \$
MCR-3G	Orbit MCR-3G: 3G GSM, SINGLE SIM, 2 Ethernet, 1 Serial	850 \$
MCR-3G + WiFi B/G/N	Orbit MCR-3G Dual: 3G GSM, DUAL SIM, 2 Ethernet, 1 Serial	1050 \$
MCR-3G Dual + WiFi B/G/N	Orbit MCR-3G + WiFi: 3G GSM, DUAL SIM, WiFi B/G/N, 2 Ethernet, 1 Serial	1295 \$

- **Tecnología de banda no licenciada 900 MHz.**

La implementación de la red mediante el uso de esta tecnología tiene la ventaja que es una red totalmente privada para el transporte de información, pero sabiendo que la complejidad de la red es mucho mayor que la anterior debido a que no existe infraestructura para la operación de la misma, tomando en cuenta que es necesario el uso de torres de comunicación diferentes antenas y equipos de red ya que es una red completamente nueva, también se debe tomar en cuenta que la distancia entre equipos de comunicación es de máximo 30 millas y esta distancia se la puede repetir por máximo 8 saltos.

El uso de esta tecnología es mucho más caro que el anterior debido a la necesidad de contar con la analizado anteriormente, la tecnología MDS Orbit MCR-900 implementa un ancho de banda escalable, repetición store & forward, priorización de datos QoS para proveer una variedad de alternativas de rango y velocidad mientras se asegura la trasmisión y recepción de datos. La Figura 83 muestra un ejemplo de comunicación por intermedio de la red de 900 MHz para la tecnológica Orbit de MDS.

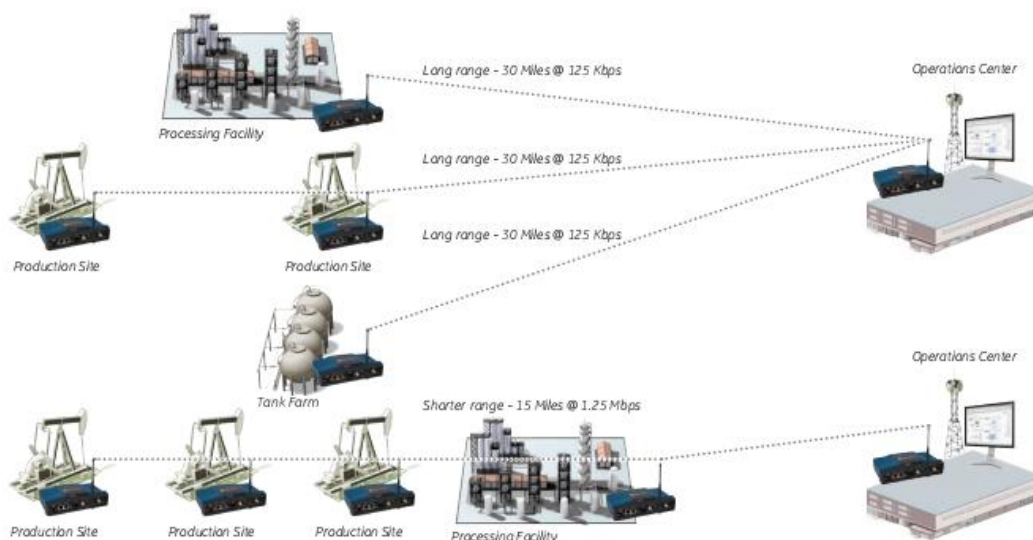


Figura 83. Comunicación en banda no licenciada de 900 MHz, Plataforma Orbit

Fuente: (Electric, 2012)

Los equipos que ofrecen esta posibilidad destacando sus funciones principales y costos se presentan en la Tabla 22.

Tabla 22. Selección de equipos de operación banda celular de la plataforma Orbit

Plataforma Orbit MDS, comunicación 900 MHz		
Nombre	Descripción	Precio
MCR-900	Orbit MCR-900: UNLICENSED 900 MHz, 2 Ethernet, 1 Serial	1495 \$
MCR-900 + WiFi B/G/N	Orbit MCR-900 + WiFi: UNLICENSED 900 MHz with WiFi B/G/N, 2 Ethernet, 1 Serial	1695 \$
MCR-900 + 3G	Orbit MCR-900 +3G: UNLICENSED 900 MHz with 3G SINGLE SIM, 2 Ethernet, 1 Serial	1895 \$
MCR-900 + 3G Dual	Orbit MCR-900 +3G Dual: UNLICENSED 900 MHz with 3G DUAL SIM, 2 Ethernet, 1 Serial	2195 \$
MCR-900 + 4G	Orbit MCR-900 + 4G: UNLICENSED 900 MHz with 4G, 2 Ethernet, 1 Serial	2195 \$

Fuente: (Electric, 2012)

3.8. Ingeniería básica para subsistema de supervisión y monitoreo.

3.8.1. Análisis y revisión de elementos de supervisión y monitoreo necesarios.

Los equipos de monitoreo necesarios son para medir el caudal impulsado desde las diferentes estaciones de bombeo. Actualmente dos de las tres estaciones de bombeo del sistema de conducción de aguas cuentan con equipos de monitoreo que son registradores de caudal, y se detallarán a continuación.

- **Registrador de caudal Sparling Tigermag EP FM-656 (Sparling, 2002).**

Este equipo se encuentra actualmente instalado en la estación de bombeo Caza Lagarto y es usado para monitorear el caudal medido por el sensor Sparling FM 656. El registrador posee una carcasa con NEMA-4X, puede ser instalado varios metros del sensor y es recomendado en ocasiones donde exista mucha vibración, posibles fugas de agua o la temperatura del proceso sea relativamente alta, este equipo de monitoreo posee las siguientes características.

- Protecciones: NEMA-4X y NEMA-7.
- Distancia entre el sensor y registrador, 5m.
- Pantalla LCD de 14 segmentos.
- Voltajes de alimentación, 77 – 265 V AC y opcional de 12 – 60 V DC.
- Salidas analógicas de corriente, pulsos escalados y salida a frecuencia.

La Figura 84 muestra al registrador de caudal Sparling Tigermag FM656.

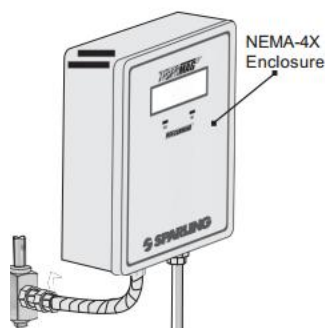


Figura 84. Registrador de Caudal Sparling Tigermag FM656

Fuente: (Sparling, 2002)

- **Registrador/Transmisor de caudal Siemens SONO 3000 (SIEMENS, 2006).**

Este equipo se encuentra instalado en la estación de Bombeo El Ceibal, y es usado para monitorear el caudal medido por el sensor Siemens F US SITRANS SONO 3100. De igual manera este equipo de monitoreo permite transmitir la señal de medida hasta un controlador programable. Usado para ubicaciones donde existen muchas vibraciones.

- Protecciones: IP 20 a IEC 529 y DIN 40050.
- Distancia entre el sensor y registrador, 9 m.
- Pantalla LCD de 16 segmentos.
- Voltajes de alimentación, 115/230 V AC, 50-60 Hz.
- Salidas analógicas de corriente, salidas de frecuencia.
- Salidas a relé para indicar errores de dirección de flujo o de velocidad del sonido.

La Figura 85 muestra al registrador de caudal Siemens SONO 3000.



Figura 85. Registrador de caudal Siemens SONO 3000

Fuente: (SIEMENS, 2006)

3.8.2. Elaboración de diagramas de arquitectura de control.

La Figura 51 presentada en este capítulo muestra el diagrama de arquitectura de control para toda la línea de conducción Caza Lagarto – El Colorado de manera no detallada por lo tanto es necesario identificar cada uno de los puntos presentados en este diagrama de manera individual.

- La Figura 86, muestra en detalle la arquitectura de control para la estación de bombeo Caza Lagarto, identificando la computadora para el software HMI, switch de comunicación, torre de comunicación, PLC Allen Bradley, Arrancadores ABB, bombas y las interconexiones entre cada proceso.

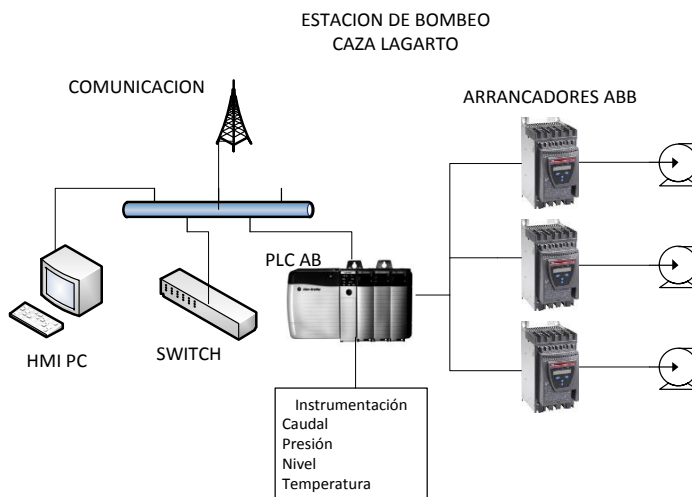


Figura 86. Arquitectura de control para la estación de bombeo Caza Lagarto.

- La Figura 87, muestra en detalle la arquitectura de control para la estación de bombeo Río de Oro, identificando la computadora para el software HMI, switch de comunicación, torre de comunicación, PLC Allen Bradley, Variadores Schneider, bombas y las interconexiones entre cada proceso.

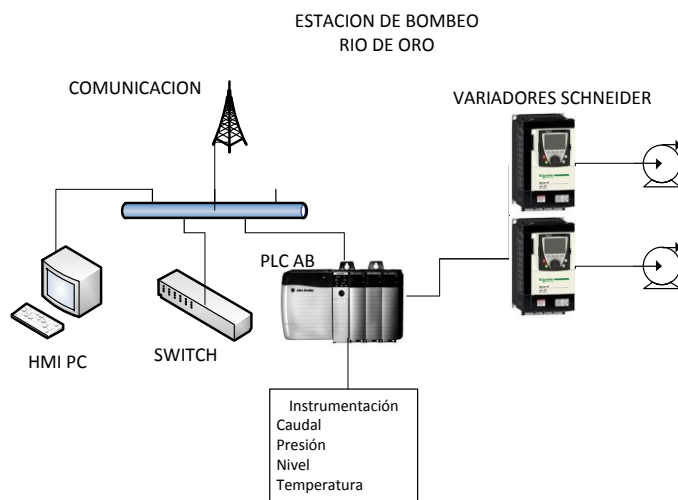


Figura 87. Arquitectura de control para estación de Bombeo Río de Oro.

- La Figura 88, muestra en detalle la arquitectura de control, para los siguientes puntos de la conducción, Mocochal, Loma Blanca, Las Palmas, El Colorado, de los cuales solo Mocochal maneja instrumentación para Nivel y Caudal, las demás solo monitorean Caudal, se detalla el PLC Allen Bradley, switch de comunicación y el proceso de instrumentación.

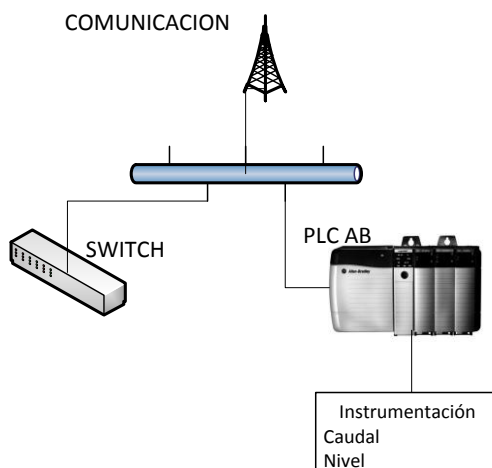


Figura 88. Arquitectura de control para varios puntos del acueducto Caza Lagarto - El Colorado.

La Figura 52 presentada en este capítulo, muestra el diagrama de arquitectura de control para toda la línea de conducción El Ceibal – Azúa de manera no detallada por lo tanto es necesario identificar cada uno de los puntos presentados en este diagrama de manera individual.

- La Figura 89, muestra en detalle la arquitectura de control para la estación de bombeo El Ceibal, identificando la computadora para el software HMI, switch de comunicación, torre de comunicación, PLC Allen Bradley, Variadores Schneider, bombas y las interconexiones entre cada proceso.

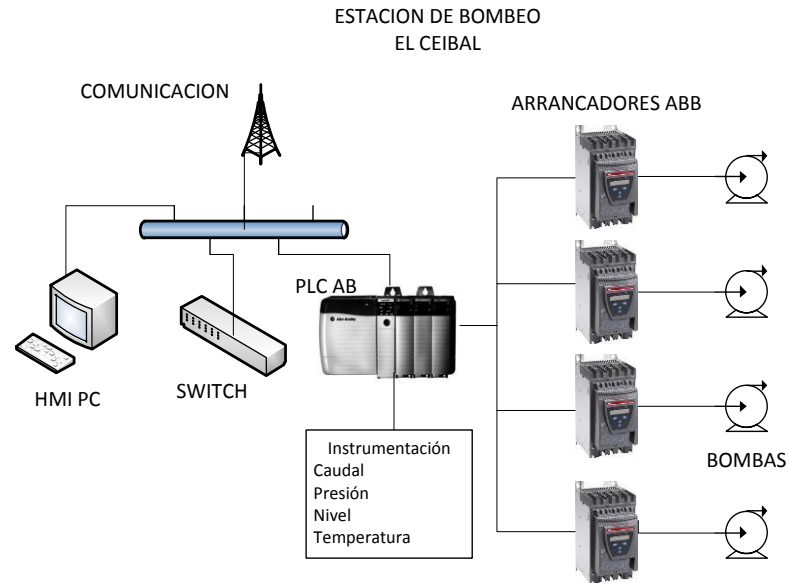


Figura 89: Arquitectura de control para estación de bombeo El Ceibal.

- La Figura 90, muestra en detalle la arquitectura de control, para los siguientes puntos de la conducción, Cruz Verde, Intermedio, los cuales monitorean Nivel y Caudal, se detalla el PLC Allen Bradley, switch de comunicación y el proceso de instrumentación.

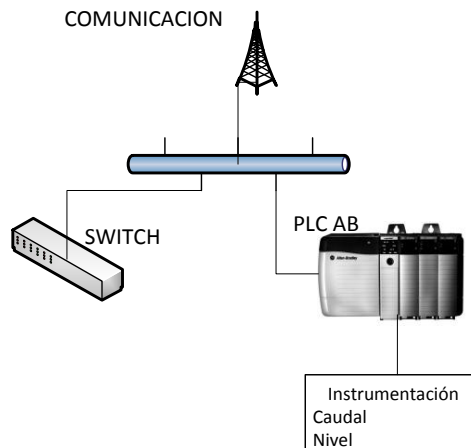


Figura 90. Arquitectura de control para varios puntos del acueducto El Ceibal - Azúa.

3.8.3. Selección y análisis de equipos de monitoreo.

Los equipos actualmente instalados para monitorear el caudal son los diseñados para operar con los sensores requeridos, es decir los registradores existentes en las plantas de bombeo son los necesarios para este sistema. Se deberá contar con los siguientes elementos.

- i. Un registrador de caudal Siemens SONO 3000 para monitorear la señal del sensor Siemens SITRANS F US SONO 3100.
- ii. Dos registradores de caudal Sparling Tigermag FM 656 para monitorear los sensores Sparling FM 656.

Por otra parte se considera como equipos de monitoreo a las computadoras donde se tendrá instalado el software de monitoreo y que deben contar con las siguientes especificaciones y requisitos.

- i. Sistema Operativo, Windows 7 / Windows Server 2008 – 64 bits.
- ii. Memoria RAM de 4 GB.
- iii. Disco duro de 500 GB.
- iv. Procesador Intel Dual Core o Intel i3.
- v. Monitor de mínimo de 21 pulgadas.
- vi. Funciones de red Ethernet.

La computadora permitirá ejecutar los software de monitoreo y base de datos sin ningún inconveniente, además de poder manejar la resolución suficiente para las pantallas HMI.

3.8.4. Selección y análisis de software de monitoreo.

Para el sistema de monitoreo se ha seleccionado el software Wonderware InTouch (Invensys, 2012), el cual cumple con todos los requerimientos presentados así como viabilidad y disponibilidad técnica, el criterio de selección para este software se basa en las siguientes especificaciones y características.

- **Programación:** InTouch dispone de un lenguaje de programación sencillo y extenso para la realización de cálculos en segundo plano, simulaciones, etc. Su programación está estructurada en grupos y eventos. Los programas condicionales se pueden asociar a resultados (verdadero, falso, mientras sea verdadero o falso) o botones (al pulsar, al mantener o al soltar). Los programas de pantallas se invocan al abrir, cerrar o mientras la pantalla esté visible. Los programas por cambio de valores se activan al cambio de valores de tags, por acciones del operador (como la selección de objetos), o como resultado de eventos o condiciones de alarmas.

El editor de programas muestra todas las funciones disponibles en pulsadores y dispone de utilidades de búsqueda y reemplazo, conversión y hasta 256 caracteres en expresiones para programas condicionales. Su lenguaje de programación soporta expresiones matemáticas y lógicas. Los usuarios pueden visualizar números decimales de precisión sencilla mientras se calculan con doble precisión. Se han añadido nuevas funciones de manipulación de cadenas de texto, matemáticas, entrada/salida de ficheros, recursos del sistema, representaciones hexadecimales y científicas de valores, etc.

- **Seguridad:** InTouch ofrece hasta 10000 niveles de acceso a los que puede asignarse una clave, asegurando que las entradas a áreas no permitidas y operaciones condicionales de una aplicación se realicen correctamente.

- **Actualización de lecturas/escrituras optimizada:** El uso de InTouch de técnicas de excepción en lecturas/escrituras de variables enlazadas a segundas aplicaciones facilita la transferencia de datos de la forma más rápida. Sólo se actualizan continuamente los puntos de comunicación de objetos visibles o los utilizados en alarmas, históricos o en programas de usuario; debido a que InTouch mantiene un registro de los puntos utilizados, eliminando el uso de tablas complejas. Wonderware creó el protocolo FastDDE para conseguir actualizaciones de variables a altas velocidades.

- **Generación de informes Personalizados y documentación:** La creación de Informes en aplicaciones industriales se realiza de forma simple formateando pantallas imprimibles automáticamente a través de eventos. InTouch facilita Wizards específicos como el envío de informes por correo electrónico y dispone de potentes opciones para la generación de documentación de una aplicación.

- **Integración con base de datos:** InTouch posee la capacidad de integrarse con diferentes motores de base de datos como SQL SERVER, en donde se puede almacenar diferentes datos adquiridos en cada uno de los procesos con el objetivo de tener un registro de estos y poderlos consultar al momento que sea necesario.

- **Aplicaciones en Red:** Las Referencias Dinámicas permiten al usuario la modificación de las propiedades de enlace de sus variables en tiempo de ejecución, como direcciones del PLC, celdas de hojas de cálculo u otras referencias DDE. De esta forma se puede visualizar cualquier celda de una hoja de cálculo utilizando un único tag.

Las Alarmas Distribuidas soportan múltiples servidores o proveedores de alarmas simultáneamente, facilitando al operador la posibilidad de monitorizar la información de alarmas de múltiples localizaciones a la vez. Las nuevas funciones de alarmas distribuidas permiten implementar reconocimiento, barras de desplazamiento y otras operaciones para el uso en una red.

De la misma forma, el nuevo sistema de Gráficos Históricos Distribuidos permite la especificación de diferentes ficheros históricos de datos para cada una de las 8 plumas posibles de un gráfico.

El Desarrollo Remoto (NAD) se ha incorporado para facilitar el desarrollo de aplicaciones en red. Incluye actualización de todos los nodos de forma automática, por tiempo, por el operador o por eventos de la aplicación.

3.8.5. Realizar un análisis de equipos y software de monitoreo disponible en el mercado.

- **Registadores de caudal Sparling.**

El fabricante solo ofrece una opción como registrador de caudal para el sensor Sparling FM-656 el cual es Sparling Tigermag EP FM-656, las características de este sensor fueron detalladas en el apartado de selección de equipos.

- **Registadores de caudal Siemens.**

El fabricante ofrece cinco opciones de registrador para trabajar con el sensor de caudal SONO 3100, los registradores de caudal SONO 3000 difieren en las siguientes características, mostradas en la Tabla 23.

Tabla 23. Características de los diferentes registradores de caudal Siemens

Características	Enclosure IP 67	Enclosure IP 20, front panel	Enclosure IP 65, Wall mounting	Exd versión Wall mounting	Enclosure 19'' insert
Carcaza	IP 67/IEC 529	IP 20/IEC 529	IP 65/IEC 529	IP 67/IEC 529	IP 00/IEC 529
Vibración	1 a 800 Hz	1 a 800 Hz	1 a 800 Hz	1 a 800 Hz	1 a 800 Hz
Temperatura	-20 °C a +55 °C	0 °C a +55 °C	0 °C a +55 °C	-20°C a +55°C	0 °C a +55 °C
Fuente de voltaje	EN 60730	115/230 V AC 50-60 Hz	24 V DC 15 VA	24 V DC 10 VA	24 V DC 15 VA

- **Software de HMI.**

Además del software InTouch de Wonderware los PLC seleccionados para operar el sistema pueden trabajar con el software HMI SCADA Factory Talk de Allen Bradley.

- **Factory Talk** (Rockwell, Rockwell Automation, 2011): Es un software diseñado con una visión, sentido y navegación en común para ayudar la mejora de la velocidad de la aplicación HMI, así como el tiempo de desarrollo. Siendo parte de la arquitectura integrada de Rockwell Automation, Factory Talk es parte escalable y unificada de las soluciones de monitoreo y control, diseñado para abarcar las aplicaciones a nivel de máquinas autónomas por intermedio del nivel de supervisión aplicaciones HMI a través de una red. Ofrece un ambiente común de desarrollo, aplicación y arquitectura, por lo tanto se puede mejorar la productividad, reducir los costos de operación y mejorar la calidad. Se puede obtener los siguientes beneficios:

- Arquitectura escalable desde una sola estación HMI un sistema múltiple del tipo cliente servidor.

- ii. Maximizar la disponibilidad del sistema construido en base a detección de fallas y recuperación.
- iii. Optimizar la comunicación de la planta, la vida de los datos y la comunicación entre controladores.
- iv. Capacidad de programar las aplicaciones para alcanzar las necesidades específicas.
- v. Conectividad con histórico y tiempo real.
- vi. Posee una librería de más de 5000 gráficos y símbolos prediseñados.
- vii. Capacidad de configurar la aplicación desde cualquier lugar en la red, con facilidad de realizar cambios de manera remota, configuración multiusuario.

CAPITULO 4

INGENIERÍA DE DETALLE

4.1. Ingeniería de Detalle para el sistema de Instrumentación.

4.1.1. Levantamiento de planos y diagramas eléctricos de montaje.

A continuación se desarrollará cada uno de los planos eléctricos unifilares necesarios para el montaje de cada sensor seleccionado que será parte del sistema de instrumentación para la automatización de los acueductos, el plano detallará las conexiones de alimentación, conexión con controladores, etc.

4.1.1.1. Planos eléctricos para los instrumentos del acueducto Caza Lagarto – El Colorado.

- **Diagramas eléctricos para estación Caza Lagarto.**

La estación debe contar con instrumentos para la medida de caudal, presión, temperatura y nivel, cada una de las señales de respuesta de estos instrumentos deben ser leídas por el controlador ControlLogix 1756 de Allen Bradley mediante un módulo de entradas analógicas 1756 IF6I el cual posee seis entradas analógicas para voltaje y seis

entradas analógicas para corriente. Los diagramas eléctricos para esta estación detallan cada una de las conexiones de alimentación, respuesta y lectura de las señales para los siguientes elementos.

- Sensor de flujo Sparling Tigermag EP FM656.
- Sensor de presión Allen Bradley 836E.
- Sensor de temperatura tipo PT100.
- Interruptor de nivel.
- Fuente de energía 606-XLP de Allen Bradley / 24 VDC – 120 W.
- Módulo de entradas analógicas 1756 IF6I.

Los planos desarrollados están presentados en la sección de anexos con los nombres de Instrumentación Caza Lagarto Sensores 001 e Instrumentación Caza Lagarto Modulo/Alimentación 002.

- **Diagramas eléctricos para tanque Mocochoal.**

Este punto debe contar con instrumentos para la medida de caudal y nivel, cada una de las señales de respuesta de estos instrumentos deben ser leídas por el controlador ControlLogix 1756 de Allen Bradley mediante un módulo de entradas analógicas 1756 IF6I el cual posee seis entradas analógicas para voltaje y seis entradas analógicas para corriente. Los diagramas eléctricos para esta estación detallan cada una de las conexiones de alimentación, respuesta y lectura de las señales para los siguientes elementos.

- Sensor de flujo Sparling Tigermag EP FM656.
- Sensor de nivel Siemens The Probe.
- Fuente de energía 606-XLP de Allen Bradley / 24 VDC – 120 W.
- Módulo de entradas analógicas 1756 IF6I.

Los planos desarrollados están presentados en la sección de anexos con los nombres de Instrumentación Mocochoal.

- **Diagramas eléctricos para interconexión Loma Blanca.**

Este punto debe contar con instrumentos para la medida de caudal tanto al ingreso como a la salida de la interconexión, cada una de las señales de respuesta de estos instrumentos deben ser leídas por el controlador ControlLogix 1756 de Allen Bradley mediante un módulo de entradas analógicas 1756 IF6I el cual posee seis entradas analógicas para voltaje y seis entradas analógicas para corriente. Los diagramas eléctricos para esta estación detallan cada una de las conexiones de alimentación, respuesta y lectura de las señales para los siguientes elementos.

- Sensor de flujo Sparling Tigermag EP FM656.
- Fuente de energía 606-XLP de Allen Bradley / 24 VDC – 120 W.
- Módulo de entradas analógicas 1756 IF6I.

Los planos desarrollados están presentados en la sección de anexos con los nombres de Instrumentación Loma Blanca.

- **Diagramas eléctricos para estación Río de Oro.**

La estación debe contar con instrumentos para la medida de caudal, presión, temperatura y nivel, cada una de las señales de respuesta de estos instrumentos deben ser leídas por el controlador ControlLogix 1756 de Allen Bradley mediante un módulo de entradas analógicas 1756 IF6I el cual posee seis entradas analógicas para voltaje y seis entradas analógicas para corriente. Los diagramas eléctricos para esta estación detallan cada una de las conexiones de alimentación, respuesta y lectura de las señales para los siguientes elementos.

- Sensor de flujo Sparling Tigermag EP FM656.
- Sensor de presión Allen Bradley 836E.
- Sensor de temperatura tipo PT100.
- Sensor de nivel Siemens The Probe.

- Fuente de energía 606-XLP de Allen Bradley / 24 VDC – 120 W.
- Módulo de entradas analógicas 1756 IF6I.

Los planos desarrollados están presentados en la sección de anexos con los nombres de Instrumentación Río de Oro Sensores 001 e Instrumentación Río de Oro Modulo/Alimentación 002.

- **Diagramas eléctricos para interconexión Las Palmas.**

Este punto debe contar con instrumentos para la medida de caudal a la salida de la interconexión, cada una de las señales de respuesta de este instrumento deben ser leídas por el controlador ControlLogix 1756 de Allen Bradley mediante un módulo de entradas analógicas 1756 IF6I el cual posee seis entradas analógicas para voltaje y seis entradas analógicas para corriente. Los diagramas eléctricos para esta estación detallan cada una de las conexiones de alimentación, respuesta y lectura de las señales para los siguientes elementos.

- Sensor de flujo Sparling Tigermag EP FM656.
- Fuente de energía 606-XLP de Allen Bradley / 24 VDC – 120 W.
- Módulo de entradas analógicas 1756 IF6I.

Los planos desarrollados están presentados en la sección de anexos con los nombres de Instrumentación Las Palmas.

- **Diagramas eléctricos para estación El Colorado.**

Este punto debe contar con instrumentos para la medida de caudal a la salida al ingreso de la estación de potabilización El Colorado, cada una de las señales de respuesta de este instrumento deben ser leídas por el controlador ControlLogix 1756 de Allen Bradley mediante un módulo de entradas analógicas 1756 IF6I el cual posee seis entradas analógicas para voltaje y seis entradas analógicas para corriente. Los diagramas eléctricos

para esta estación detallan cada una de las conexiones de alimentación, respuesta y lectura de las señales para los siguientes elementos.

- Sensor de flujo Sparling Tigermag EP FM656.
- Fuente de energía 606-XLP de Allen Bradley / 24 VDC – 120 W.
- Módulo de entradas analógicas 1756 IF6I.

Los planos desarrollados están presentados en la sección de anexos con los nombres de Instrumentación El Colorado.

4.1.1.2. Planos eléctricos para los instrumentos del acueducto El Ceibal – Azúa.

- **Diagramas eléctricos para estación El Ceibal.**

La estación debe contar con instrumentos para la medida de caudal, presión, temperatura y nivel, cada una de las señales de respuesta de estos instrumentos deben ser leídas por el controlador ControlLogix 1756 de Allen Bradley mediante un módulo de entradas analógicas 1756 IF8 el cual posee seis entradas analógicas para voltaje y seis entradas analógicas para corriente. Los diagramas eléctricos para esta estación detallan cada una de las conexiones de alimentación, respuesta y lectura de las señales para los siguientes elementos.

- Sensor de flujo Siemens SONO 3100.
- Sensor de presión Allen Bradley 836E.
- Sensor de temperatura tipo PT100.
- Sensor de nivel Siemens The Probe. Fuente de energía 606-XLP de Allen Bradley / 24 VDC – 120 W.
- Módulo de entradas analógicas 1756 IF8.

Los planos desarrollados están presentados en la sección de anexos con los nombres de Instrumentación El Ceibal Sensores 001 e Instrumentación El Ceibal Modulo/Alimentación 002.

- **Diagramas eléctricos para tanque Cruz Verde.**

Este punto debe contar con instrumentos para la medida de caudal y nivel, cada una de las señales de respuesta de estos instrumentos deben ser leídas por el controlador ControlLogix 1756 de Allen Bradley mediante un módulo de entradas analógicas 1756 IF6I el cual posee seis entradas analógicas para voltaje y seis entradas analógicas para corriente. Los diagramas eléctricos para esta estación detallan cada una de las conexiones de alimentación, respuesta y lectura de las señales para los siguientes elementos.

- Sensor de flujo Siemens SONO 3100.
- Sensor de nivel Siemens The Probe.
- Fuente de energía 606-XLP de Allen Bradley / 24 VDC – 120 W.
- Módulo de entradas analógicas 1756 IF6I.

Los planos desarrollados están presentados en la sección de anexos con los nombres de Instrumentación Cruz Verde.

- **Diagramas eléctricos para tanque Intermedio.**

Este punto debe contar con instrumentos para la medida de caudal y nivel, cada una de las señales de respuesta de estos instrumentos deben ser leídas por el controlador ControlLogix 1756 de Allen Bradley mediante un módulo de entradas analógicas 1756 IF6I el cual posee seis entradas analógicas para voltaje y seis entradas analógicas para corriente.

Los diagramas eléctricos para esta estación detallan cada una de las conexiones de alimentación, respuesta y lectura de las señales para los siguientes elementos.

- Sensor de flujo Siemens SONO 3100.
- Sensor de nivel Siemens The Probe.
- Fuente de energía 606-XLP de Allen Bradley / 24 VDC – 120 W.
- Módulo de entradas analógicas 1756 IF6I.

Los planos desarrollados están presentados en la sección de anexos con los nombres de Instrumentación Intermedio.

- **Diagramas eléctricos para estación Azúa.**

Este punto debe contar con instrumentos para la medida de caudal, cada una de las señales de respuesta de este instrumento deben ser leídas por el controlador ControlLogix 1756 de Allen Bradley mediante un módulo de entradas analógicas 1756 IF6I el cual posee seis entradas analógicas para voltaje y seis entradas analógicas para corriente.

Los diagramas eléctricos para esta estación detallan cada una de las conexiones de alimentación, respuesta y lectura de las señales para los siguientes elementos.

- Sensor de flujo Siemens SONO 3100.
- Fuente de energía 606-XLP de Allen Bradley / 24 VDC – 120 W.
- Módulo de entradas analógicas 1756 IF6I.

Los planos desarrollados están presentados en la sección de anexos con los nombres de Instrumentación Azúa.

4.1.2. Elaboración de planos P&ID definitivos para el sistema.

4.1.2.1. Diagramas P&ID para los procesos del acueducto Caza Lagarto – El Colorado.

- Diagrama P&ID estación de bombeo Caza Lagarto.

El diagrama P&ID desarrollado muestra los elementos necesarios para el sistema de automatización de la estación de bombeo, destacando cada instrumento, controlador, elementos como tanque, motores o bombas, el diagrama se presenta en la sección de anexos con el nombre de Bombeo Caza Lagarto y la descripción de cada elemento presente en el diagrama se detalla en la Tabla 24.

Tabla 24. Descripción de elementos presentes en la estación Caza Lagarto, P&ID

Nomenclatura	Descripción
HA-101, HA-102, HA-103	Válvulas de compuerta.
P001, P002, P003	Bombas en línea con motor eléctrico vertical.
TE001, TE002, TE003	Elementos medidores de temperatura.
PI001, PI002, PI003	Manómetros Indicadores de Presión.
HA-104, HA-105, HA-106	Válvulas de aguja.
HA-107, HA-108, HA-109	Válvulas Check.
CV001, CV002, CV003	Válvulas tipo Globo con accionamiento manual.
CV011, CV022, CV033	Válvulas tipo mariposa con accionamiento manual.
FE100	Elemento medidor de caudal tipo magnético.
FT100	Transmisor de caudal.
PI100	Indicador de presión.
PT100	Transmisor de presión.
PI111	Indicador de presión.
TC111	Controlador de temperatura.
FC111	Controlador de Caudal.
LS111	Interruptor de nivel.

- **Diagrama P&ID estación de bombeo Río de Oro y Tanque Mocochal.**

Los diagramas P&ID desarrollados muestran los elementos necesarios para el sistema de automatización de la estación de bombeo Río de Oro y del Tanque del cerro Mocochal, destacando cada instrumento, controlador, elementos como tanque, motores o bombas, etc. El diagrama se presenta en la sección de anexos con el nombre de Bombeo Río de Oro Tanque Mocochal y la descripción de cada elemento presente en el diagrama se detalla en la Tabla 25 y Tabla 26 respectivamente.

Tabla 25. Descripción de elementos de la estación Río de Oro, P&ID

Nomenclatura	Descripción
FE300	Elemento medidor de caudal, tipo magnético.
FT300	Transmisor de caudal.
CV222, CV001, CV002, CV012, CV023	Válvula de compuerta accionamiento manual.
P011, P022	Bomba en línea motor horizontal.
TE011, TE022	Elemento medidor de temperatura.
HA-114, HA-115	Válvula Check.
HA-116, HA117	Válvula de globo.
CV013, CV021	Válvula de mariposa accionamiento manual.
PI002	Indicador de presión.
PT002	Transmisor de presión.
CV003	Válvula de mariposa accionamiento eléctrico.
FE004	Elemento medidor de caudal.
FT004	Transmisor de caudal.
LT003	Transmisor de nivel.
FC123	Controlador de caudal.
LC123	Controlador de nivel.
TC123	Controlador de temperatura.
PI123	Indicador de presión.

Tabla 26. Descripción de elementos en Tanque Mocochal, P&ID

Nomenclatura	Descripción
LE001	Elemento medidor de nivel.
CV012	Válvula de compuerta accionamiento manual.
CV013	Válvula de mariposa accionamiento eléctrico.
FE200	Elemento medidor de caudal.
FT200	Transmisor de caudal.
FC200	Controlador de caudal.
LC001	Controlador de nivel.


4.1.2.2. Diagramas P&ID para los procesos del acueducto El Ceibal – Azúa.

- **Diagrama P&ID estación de bombeo El Ceibal.**

El diagrama P&ID desarrollado muestra los elementos necesarios para el sistema de automatización de la estación de bombeo, destacando cada instrumento, controlador, elementos como tanque, motores o bombas, el diagrama se presenta en la sección de anexos con el nombre de Bombeo El Ceibal y la descripción de cada elemento presente en el diagrama se detalla en la Tabla 27.

Tabla 27. Descripción de elementos presentes en la estación El Ceibal, P&ID

Nomenclatura	Descripción
CV001, CV002, CV003	Válvula de compuerta accionamiento manual.
PI100, PI200, PI300, PI101, PI201, PI301	Manómetros indicadores de presión.
HA-131, HA132, HA-133	Válvulas Check.
CV101, CV201, CV301	Válvula mariposa accionamiento manual.
PI501	Indicador de presión.
PT501	Transmisor de presión.
CV600	Válvula de compuerta accionamiento eléctrico.
FE111	Elemento medidor de caudal.
FT111	Transmisor de caudal tipo ultrasónico.

Continua 

TE121, TE122, TE123, TE124	Elemento medidor de temperatura.
P100, P200, P300, P400	Bomba en línea, motor eléctrico horizontal.
FC100	Controlador de caudal.
LC100	Controlador de nivel.
TC100	Controlador de Temperatura.
PI101	Indicador de presión.

- **Diagrama P&ID tanques Cruz Verde e Intermedio.**

Los diagramas P&ID desarrollados muestran los elementos necesarios para el sistema de automatización de los tanques Cruz Verde e Intermedio, destacando cada instrumento, controlador, elementos como tanque, motores o bombas, etc. El diagrama se presenta en la sección de anexos con el nombre de Tanque Cruz Verde, Intermedio, y la descripción de cada elemento presente en el diagrama se detalla en la Tabla 28 y Tabla 29 respectivamente.

Tabla 28. Descripción elementos tanque Cruz Verde, P&ID

Nomenclatura	Descripción
LT001	Transmisor de nivel.
CV105	Válvula de compuerta accionamiento eléctrico.
FE112	Elemento medidor de caudal tipo ultrasónico.
FT112	Transmisor de caudal.
FC101	Controlador de Caudal.
LC101	Controlador de nivel.

Tabla 29. Descripción elementos tanque Intermedio, P&ID

Nomenclatura	Descripción
FE103	Elemento medidor de caudal tipo ultrasónico.
LT001	Transmisor de nivel.
FE112	Elemento medidor de caudal tipo ultrasónico.
FT112	Transmisor de caudal.
LC101	Controlador de nivel.
FC101	Controlador de caudal.
CV224	Válvula de compuerta accionamiento eléctrico.

4.1.3. Diseño de sistema para adquisición de datos.

4.1.3.1. Direccionamiento de señales de los instrumentos a los controladores del acueducto Caza Lagarto – El Colorado.

- **Direccionamiento de señales en la estación de bombeo Caza Lagarto.**

La automatización de la estación involucra la lectura de señales de caudal, presión y temperatura emitida por los sensores Sparling FM656, Allen Bradley 836E y un RTD tipo PT100 respectivamente, todos los sensores manejan una respuesta de 4 a 20 mA siendo leída por el controlador ControlLogix AB L1756 por intermedio de un módulo de entradas analógicas AB 1756-IF6I, el cual posee seis entradas para corriente y seis entradas para voltaje. El direccionamiento de cada uno de estos datos se muestra en la Tabla 30.

Tabla 30. Direccionamiento de señales, instrumentación Caza Lagarto

Señal	Dirección	Tag
Caudal, 4 a 20 mA.	I4.00	CL_CAUD_IMP
Presión, 4 a 20 mA.	I4.01	CL_PRE_IMP
Temperatura bomba 1, 4 a 20 mA.	I4.02	CL_TEMP_P01
Temperatura bomba 1, 4 a 20 mA.	I4.03	CL_TEMP_P02
Temperatura bomba 1, 4 a 20 mA.	I4.04	CL_TEMP_P03

- **Direccionamiento de señales en el tanque Mocochoal.**

La automatización de la operación del tanque involucra la lectura de señales de caudal y nivel emitida por los sensores Sparling FM656, Siemens The Probe respectivamente, todos los sensores manejan una respuesta de 4 a 20 mA siendo leída por el controlador ControlLogix AB L1756 por intermedio de un módulo de entradas analógicas AB 1756-

IF6I, el cual posee seis entradas para corriente y seis entradas para voltaje. El direccionamiento de cada uno de estos datos se muestra en la Tabla 31.

Tabla 31. Direccionamiento señales, instrumentacion Mocochal

Señal	Dirección	Tag
Caudal, 4 a 20 mA.	I3.00	MC_CAU
Nivel, 4 a 20 mA.	I3.01	MC_NIV

- **Direccionamiento de señales en interconexión Loma Blanca.**

El control y monitoreo de fugas en la línea de conducción involucra la lectura de la señal de caudal tanto al ingreso como a la salida de la interconexión las cuales son emitidas por dos sensores Sparling FM656 que manejan una respuesta de 4 a 20 mA siendo leída por el controlador ControlLogix AB L1756 por intermedio de un módulo de entradas analógicas AB 1756-IF6I, el cual posee seis entradas para corriente y seis entradas para voltaje. El direccionamiento de cada uno de estos datos se muestra en la Tabla 32.

Tabla 32. Direccionamiento de señales, instrumentación Loma Blanca.

Señal	Dirección	Tag
Caudal ingreso, 4 a 20 mA.	I2.00	LB_CAU_IN
Caudal salida, 4 a 20 mA.	I2.01	LB_CAU_OUT

- **Direccionamiento de señales en estación de bombeo Río de Oro.**

La automatización de la estación involucra la lectura de señales de caudal tanto al ingreso como en la impulsión, presión, nivel y temperatura emitida por dos sensores Sparling FM656, un sensor Allen Bradley 836E, Siemens The Probe y un RTD tipo PT100 respectivamente, todos los sensores manejan una respuesta de 4 a 20 mA siendo leída por el controlador ControlLogix AB L1756 por intermedio de un módulo de entradas

analógicas AB 1756-IF6I, el cual posee seis entradas para corriente y seis entradas para voltaje. El direccionamiento de cada uno de estos datos se muestra en la Tabla 33.

Tabla 33. Direccionamiento de señales, instrumentación Rio de Oro

Señal	Dirección	Tag
Caudal ingreso, 4 a 20 mA.	I4.00	RO_CAU_IN
Caudal salida, 4 a 20 mA.	I4.01	RO_CAU_IMP
Presión, 4 a 20 mA.	I4.02	RO_PRE_IMP
Nivel, 4 a 20 mA.	I4.03	RO_NIV
Temperatura bomba 1, 4 a 20 mA.	I4.04	RO_TEMP_P01
Temperatura bomba 2, 4 a 20 mA.	I4.05	RO_TEMP_P02

- **Direccionamiento de señales en interconexión Las Palmas.**

El control y monitoreo de fugas en la línea de conducción involucra la lectura de la señal del caudal que pasa por la interconexión, la cual es emitida por el sensor Sparling FM656 que manejan una respuesta de 4 a 20 mA siendo leída por el controlador ControlLogix AB L1756 por intermedio de un módulo de entradas analógicas AB 1756-IF6I, el cual posee seis entradas para corriente y seis entradas para voltaje. El direccionamiento de cada uno de estos datos se muestra en la Tabla 34.

Tabla 34. Direccionamiento de señales, instrumentación Las Palmas

Señal	Dirección	Tag
Caudal, 4 a 20 mA.	I2.00	LP_CAU

- **Direccionamiento de señales en estación El Colorado.**

El control y monitoreo de fugas en la línea de conducción involucra la lectura de la señal del caudal que llega a la estación de potabilización, la cual es emitida por el sensor Sparling FM656 que manejan una respuesta de 4 a 20 mA siendo leída por el controlador ControlLogix AB L1756 por intermedio de un módulo de entradas analógicas AB 1756-

IF6I, el cual posee seis entradas para corriente y seis entradas para voltaje. El direccionamiento de cada uno de estos datos se muestra en la Tabla 35.

Tabla 35. Direccionamiento de señales, instrumentación El Colorado

Señal	Dirección	Tag
Caudal, 4 a 20 mA.	I2.00	COL_CAU

4.1.3.2. Direccionamiento de señales de los instrumentos a los controladores del acueducto El Ceibal – Azúa.

- **Direccionamiento de señales en la estación de bombeo El Ceibal.**

La automatización de la estación involucra la lectura de señales de caudal en la impulsión, presión, nivel y temperatura emitida por los sensores Siemens SONO 3100, Allen Bradley 836E, Siemens The Probe y un RTD tipo PT100 respectivamente, todos los sensores manejan una respuesta de 4 a 20 mA siendo leída por el controlador ControlLogix AB L1756 por intermedio de un módulo de entradas analógicas AB 1756-IF6I, el cual posee seis entradas para corriente y seis entradas para voltaje. El direccionamiento de cada uno de estos datos se muestra en la Tabla 36.

Tabla 36. Direccionamiento de señales, instrumentación El Ceibal

Señal	Dirección	Tag
Caudal, 4 a 20 mA.	I4.00	ECE_CAU_IMP
Presión 4 a 20 mA.	I4.01	ECE_PRE_IMP
Nivel 4 a 20 mA.	I4.02	ECE_NIV
Temperatura bomba 1, 4 a 20 mA.	I4.03	ECE_TEMP_P01
Temperatura bomba 2, 4 a 20 mA.	I4.04	ECE_TEMP_P02
Temperatura bomba 3, 4 a 20 mA.	I4.05	ECE_TEMP_P03
Temperatura bomba 4, 4 a 20 mA.	I4.06	ECE_TEMP_P04

- **Direccionamiento de señales en el tanque Cruz Verde.**

La automatización de la operación del tanque involucra la lectura de señales de caudal y nivel emitida por los sensores Siemens SONO 3100, Siemens The Probe respectivamente, todos los sensores manejan una respuesta de 4 a 20 mA siendo leída por el controlador ControlLogix AB L1756 por intermedio de un módulo de entradas analógicas AB 1756-IF6I, el cual posee seis entradas para corriente y seis entradas para voltaje. El direccionamiento de cada uno de estos datos se muestra en la Tabla 37.

Tabla 37. Direccionamiento de señales, instrumentación Cruz Verde

Señal	Dirección	Tag
Caudal, 4 a 20 mA.	I3.00	CV_CAU
Nivel, 4 a 20 mA.	I3.01	CV_NIV

- **Direccionamiento de señales en el tanque Intermedio.**

La automatización de la operación del tanque involucra la lectura de caudal tanto al ingreso como en la descarga del tanque y nivel emitida por dos sensores Siemens SONO 3100, un sensor Siemens The Probe respectivamente, todos los sensores manejan una respuesta de 4 a 20 mA siendo leída por el controlador ControlLogix AB L1756 por intermedio de un módulo de entradas analógicas AB 1756-IF6I, el cual posee seis entradas para corriente y seis entradas para voltaje. El direccionamiento de cada uno de estos datos se muestra en la Tabla 38.

Tabla 38. Direccionamiento de señales, instrumentación Intermedio

Señal	Dirección	Tag
Caudal ingreso, 4 a 20 mA.	I3.00	INT_CAU_IN
Caudal descarga, 4 a 20 mA.	I3.01	INT_CAU_DES
Nivel, 4 a 20 mA, 4 a 20 mA.	I3.02	INT_NIV

- **Direccionamiento de señales en estación Azúa.**

El control y monitoreo de fugas en la línea de conducción involucra la lectura de la señal del caudal que llega a la estación de distribución, la cual es emitida por el sensor Siemens SONO 3100 que manejan una respuesta de 4 a 20 mA siendo leída por el controlador ControlLogix AB L1756 por intermedio de un módulo de entradas analógicas AB 1756-IF6I, el cual posee seis entradas para corriente y seis entradas para voltaje. El direccionamiento de cada uno de estos datos se muestra en la Tabla 39.

Tabla 39. Direccionamiento de señales, instrumentación Azúa

Señal	Dirección	Tag
Caudal, 4 a 20 mA.	I2.00	AZ_CAU

4.1.3.3. Configuración de los instrumentos seleccionados.

- **Sensor de caudal Sparling Tigermag EP FM656 (Sparling, 2002).**

La interfaz de configuración de este sensor es mediante dos botones etiquetados como “YES” y “NO”, posee una pantalla LCD de dos líneas y 16 caracteres alfanuméricos. Cuando un dato es requerido el cursor se posiciona en el primer carácter, una respuesta “NO” causará que el siguiente carácter válido se posicione, mientras que una respuesta “YES” sobre el carácter o dígito mostrado, moverá el cursor a la siguiente posición.

Luego de la respuesta “YES” el usuario será solicitado en ingresar el dato completo, las respuestas “NO” cuando se desee corregir y “YES” cuando todo este correcto. La Figura 91 muestra los botones de control y la pantalla de este medidor.

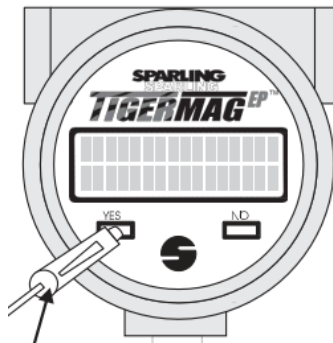


Figura 91. Sensor Sparling Tigermag EP FM656, pantalla y botones de configuración

Fuente: (Sparling, 2002).

- **Show meter data:** Para iniciar la configuración de este sensor se debe mantener presionado durante 5 segundos el botón “NO” y el responderá: SHOW METER DATA?
 - i. Respuesta “YES”, y se despliega el número de modelo, versión de firmware, número serial, numero tag, facto K (pulsos/galón). Los últimos tres valores G, I & Z, son usados cuando se llama al asistente técnico de fábrica cuando se desea solución de problemas. Una respuesta “YES” mostrará el siguiente ítem. Respuesta “NO” o una falta de respuesta por doce segundos retornara a la pantalla de operación.
 - ii. Una respuesta equivocada a esta solicitud dentro de pocos segundos automáticamente se pasara al menú de PASSWORD.
 - iii. Respuesta “NO” y la solicitud de PASSWORD aparecerá. Una falla al ingresar la clave retornara al sensor a operación normal.

- **Password Entry:** Para pasar de este punto, es requerido la clave valida. Todos los medidores están configurados con la “0001” como clave por defecto. Siempre se puede cambiar la clave, pero para este caso se permanecerá con esta.

- **Rescale Rate:** Una respuesta “YES” ingresa al lazo de reescalar el rango de lectura. Respuesta “NO” continuara con el siguiente ítem. Un menú es presentado para seleccionar las unidades de ingeniería a trabajar. Respuesta “NO” presentara las opciones de una en una. Respuesta “YES” escogerá una de las unidades mostradas.
 - i. **Select rate units:** RATE UNITS = GPM. Respuesta “YES” desplegará la medida en rango de GPM, galones por minuto. Caso contrario respuesta “NO” mostrará otras unidades de ingeniería como LPM, CFS, LPS, M3H, MGD, F/S, M/S/. La unidad con la que se trabaja este proyecto debe ser LPS o litros por segundo. La selección de LPS se la debe realizar presionando tres veces el botón “NO”, una vez que se presente la opción deseada se presiona el botón “YES” y ha sido escogido la opción de litros por segundo.

 - ii. **Factor de conversión:** Para configurar este parámetro se debe calcular el valor de equivalencia entre 1 GPM y 1 LPS, el cual es $0.0666 \text{ LPS} = 1 \text{ GPM}$. Por lo tanto el valor ingresado debe ser $1=15.00000 \text{ GPM}$?

 - iii. **Set Full Scale:** El rango a escala completa define solo el rango de flujo que se debe tener para una salida de corriente de 20 mA o una frecuencia de 1000 Hz. Esto no afectara la precisión, la frecuencia o pulso de salida. Los sensores seleccionados trabajan con los siguientes rangos de medida, 1200 LPS, 1460 LPS, 1930 LPS, 2800 LPS. Es importante que todos los sensores trabajen con el mismo rango a escala completa por lo tanto deben ser configurados para trabajar a 1200.

- iv. **Select Rate as Percent of Full Scale:** Una respuesta “YES” mostrará el caudal en la unidad seleccionada, respuesta “NO” mostrará el rango como porcentaje de la escala completa. Para esta sección se escoge “YES”, DISPLAY: RATE UNITS.

- **Rescale Total:** una respuesta “YES” ingresa al lazo, mientras que la respuesta “NO” continúa con el ítem siguiente. Este lazo permite configurar las alarmas, configurar el conteo del flujo, manejar la opción de registro, etc. Todas estas opciones serán manejadas mediante el controlador y el software de monitoreo por lo tanto no serán habilitadas para trabajar con el sensor.

- **Set Outputs:** Una respuesta “YES” entrará al lazo de configuración de salidas mientras que respuesta “NO” continuará con el siguiente ítem. La respuesta seleccionada será 4 – 20 mA. OUTPUT: 4-20 MA. La respuesta debe ser “YES” al momento de mostrar esta opción.
 - i. Existe la opción de manejar respuesta mediante frecuencia, se puede configurar el ancho de pulso entre 12.5 ms, 25 ms, 50 ms, 100 ms. Se debe navegar hasta seleccionar cualquiera de las opciones posibles. La escogida es 12.5 ms. ONTIME: 12.5, por defecto los parámetros de operación son salida de 0 – 1000 Hz, ciclo de trabajo 50/50.
 - ii. Backligh, se puede seleccionar luz de fondo en la pantalla, opciones BACKLITE: ON o BACKLITE: OFF.
 - iii. **Set Flow Direction:** Permite configurar la dirección del flujo con relación a la tubería y la instalación del medidor, las opciones son FWD y REV, para todos los sensores se selecciona FLOW DIR: FWD, lo que indica que el flujo va de manera directa.

- iv. **Empty pipe detection:** Permite al usuario configurar el control EPD, con el objetivo de conocer si la tubería se encuentra vacía. Se puede ingresar las opciones de 0 al 9 las cuales permiten detectar desde el vacío hasta una burbuja de aire en la tubería, para este caso se escogerá el 0, para mantener apagada esta opción. EPD: 0.

- v. **Protocol:** Permite escoger el protocolo de comunicación para las salidas del sensor, para este caso se mantendrá apagada esta opción. PROTOCOL: OFF.

- vi. **Damping adjustments:** La opción permite manejar el amortiguamiento de corriente para esta respuesta. SET DAMPING?, respuesta “YES” para configurar esta opción, el antigüamiento de la corriente puede estar entre 0-99 segundos, por recomendación del fabricante se escogerá CURRENT DAMP = 15 segundos. Por último se mantiene presionado el botón “NO” para guardar la configuración y salir de la misma.

Este proceso que se detalla paso a paso debe ser seguido para los seis sensores seleccionados que trabajarán en la automatización del acueducto Caza Lagarto – El Colorado sin importar el diámetro de los mismos y su rango de medida. La Figura 92 muestra el diagrama de flujo para la navegación de todos los menús y parámetros de configuración.

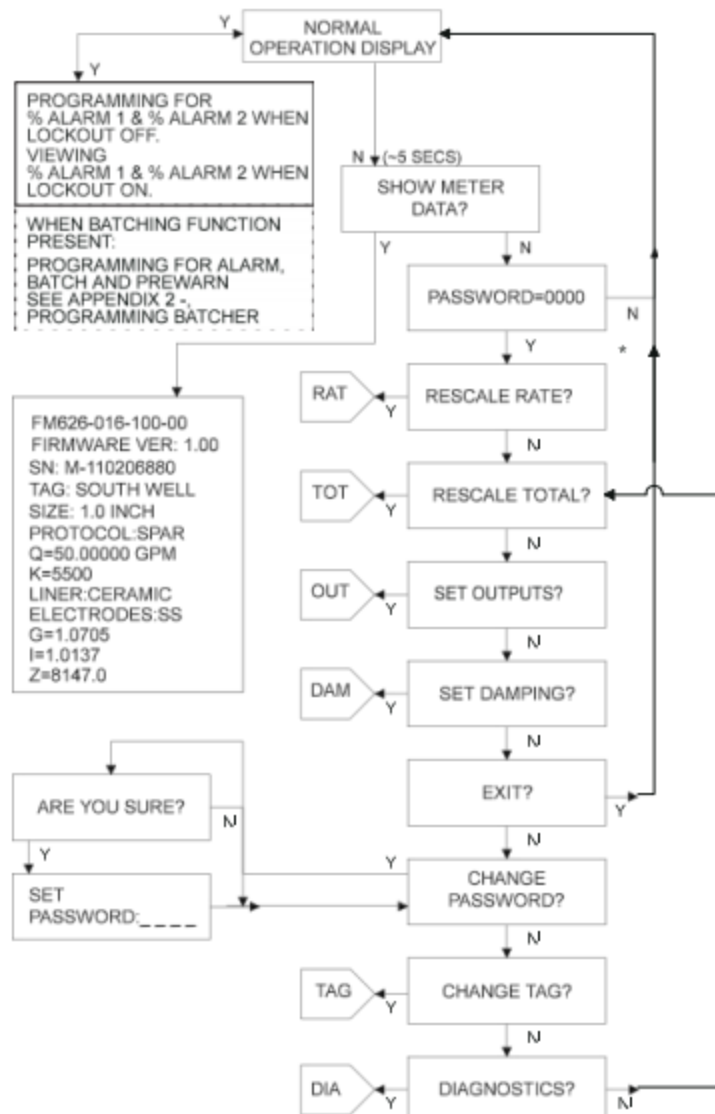


Figura 92: Programa principal de navegación entre los menús y parámetros de configuración para el sensor FM656

Fuente: (Sparling, 2002)

- **Sensor de caudal Siemens SITRNAS F US SONO 3100 (SIEMENS, 2006).**

La interfaz de configuración de este medidor posee una pantalla LCD donde se puede visualizar cada uno de los menús y parámetros de este sensor. Además de la pantalla existen seis botones para las siguientes funciones.

- TOP UP: Este botón siempre retorna la pantalla al menú principal OPERATOR MENU.
- PAGE FORWARD: Este botón es usado para avanzar a través de los menús.
- PAGE BACKWARD: Este botón es usado para retroceder a través de los menús.
- CHANGE: Este botón cambia las configuraciones de los valores numéricos.
- SELECT: Este botón selecciona la figura a ser cambiada.
- LOCK/UNCLOCK: Este botón permite al operador cambiar las configuraciones y dar acceso a los submenús.


La Figura 93 muestra la interfaz de configuración para este sensor, los botones mencionados están ubicados en orden desde el superior izquierdo hasta el inferior derecho.








Figura 93. Sensor Siemens SONO 3100, botones y pantalla de configuración





Fuente: (SIEMENS, 2006).

La pantalla de configuración es alfanumérica e indica los valores de flujo y configuraciones del medidor. Los campos F, M y L son reservados para los siguientes símbolos.

- i. F: Si se produce una falla, aparecerá dos triángulos intermitentes .
- ii. M: Los símbolos indican lo siguiente:

-  RESET MENU
-  SERVICE MODE
-  LANGUAGE SETUP
-  OPERATOR MENU SETUP
- i.  CONVERTER SETUP

iii. L: Indica la función del botón LOCK para los siguientes símbolos.

- | | |
|--|--|
|  Ready for change |  Access to submenu |
|  Value locked |  RESET MODE: Zero setting of totalizers and initialization of own setting |

La estructura del menú del medidor SONO 3100 está basada en dos partes. Un OPERATOR MENU y un SETUP MENU. Para acceder al SETUP MENU se debe presionar el botón TOP-UP por dos segundos. El SETUP MENU opera en dos modos, VIEW y CHANGE. VIEW es un modo de solo lectura y CHANGE es un modo de lectura y escritura. El modo CHANGE es protegido por un código de usuario USER CODE. El código de usuario viene por defecto de fábrica 1000.

- **OPERATOR MENU:** La interfaz de configuración siempre arranca en OPERATOR MENU mostrando el rango de flujo. Las teclas PAGE FORWARD y PAGE BACKWARD son usadas para navegar a través de OPERATOR MENU.
- **SETUP MENU** contiene los siguientes menús:
 - i. Convert set-up mode.
 - ii. Reset mode.
 - iii. Service mode.
 - iv. Language mode.
 - v. Operator mode set-up.

- vi. User code set-up.

La tecla PAGE FORWARD es usada para avanzar a través del menú principal. Presionando el botón LOCK se abre el submenú. No hay acceso de retorno desde el submenú al menú principal. Para salir del submenú se debe presionar el botón TOP UP por dos segundos, luego presionar el botón PAGE FORWARD para seleccionar el modo CHANGE. Para ingresar el código de usuario presionar el botón LOCK y para navegar a través del menú con el botón PAGE FORWARD hasta que se alcance el menú requerido.

- **CONVERT SETUP MODE:** Este modo contiene tres submenús.
 - i. **BASIC SETTINGS:** Se selecciona la dirección del flujo, rango de medida, unidad de medida y unidades de totalizador.
 - ii. **OUTPUT SETUP:** La señal de salida requerida puede ser seleccionada.
 - iii. **SENSOR CHARACTERISTICS:** Muestra la información del sensor SONO3100.
- **RESET MODE:** Para este modo el totalizador puede ser reseteado, el punto cero del medidor ser ajustado y las configuraciones de fábrica reestablecidas.
- **SERVICE MODE:** Provee la facilidad de configurar las salidas a valores fijados (salidas forzadas).
- **LANGUAGE SETUP:** Se puede escoger el idioma de menú.
- **OPERATOR MENU SETUP:** La información accesible al operador puede ser seleccionada en este menú.

- **USER CODE SETUP:** Se puede cambiar la clave de acceso desde este menú. La clave que se usara para este proyecto será la misma por defecto del producto “1000”.
- **Configuración del sensor:** Se configurará el sensor para operar bajo los siguientes parámetros, para un sensor de 800 mm de diámetro el rango de medida será a escala completa 0 a 1400 LPS, respuesta analógica en corriente continua 4 a 20 mA como parámetros básicos.
 - i. Al encontrarse en OPERATOR MENU, se empieza a navegar por los submenús, la primera opción es VOLUME FLOW se escoge esta debido a que es la magnitud a medir, dentro de esta se desplaza hasta llegar a la unidad l/s o LPS, la Figura 94 muestra la navegación entre menús y la selección de parámetros mediante cada uno de los botones. Para la selección del rango máximo en un sensor DN800, dentro del menú MAX RANGE se debe ingresar un valor de $10 * VOL FLOW MAX$ por recomendación del fabricante para contar con todo el rango del flujo.

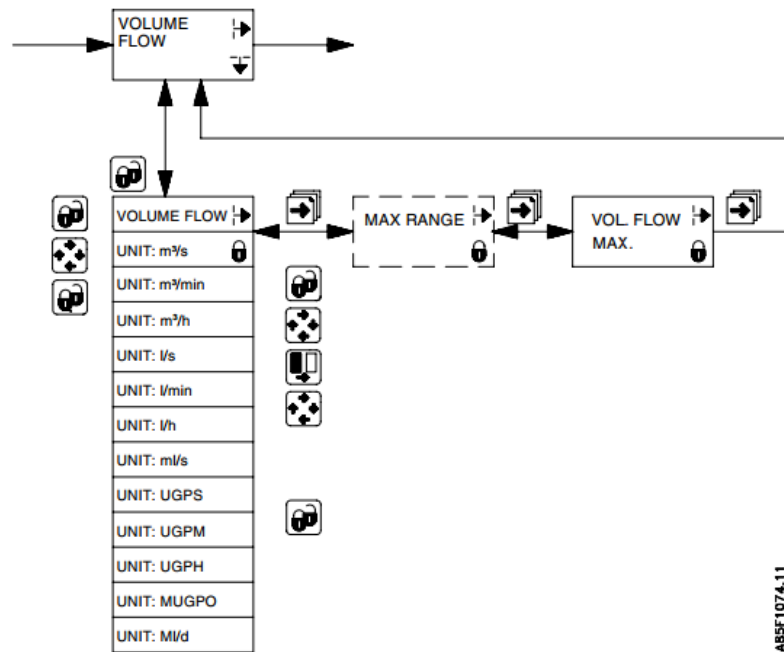


Figura 94. Navegación SONO 3100, selección magnitud y unidad

Fuente: (SIEMENS, 2006).

- ii. Las demás opciones dentro de OPERATOR MENU no serán configuradas, al regresar al inicio del menú mediante el botón FORWARD se traslada hasta SETUP MODE, para ingresar en la configuración de CONVERTER SETUP MODE con el botón LOCK, dentro de este mediante el botón FORWARD se navega hasta OUTPUT SETUP, se selecciona el menú CURRENT OUT, se ingresa al menú con el botón LOCK y dentro se debe seleccionar 4 – 20 mA. La Figura 95 muestra la navegación para selección y configuración del sensor SONO 3100.

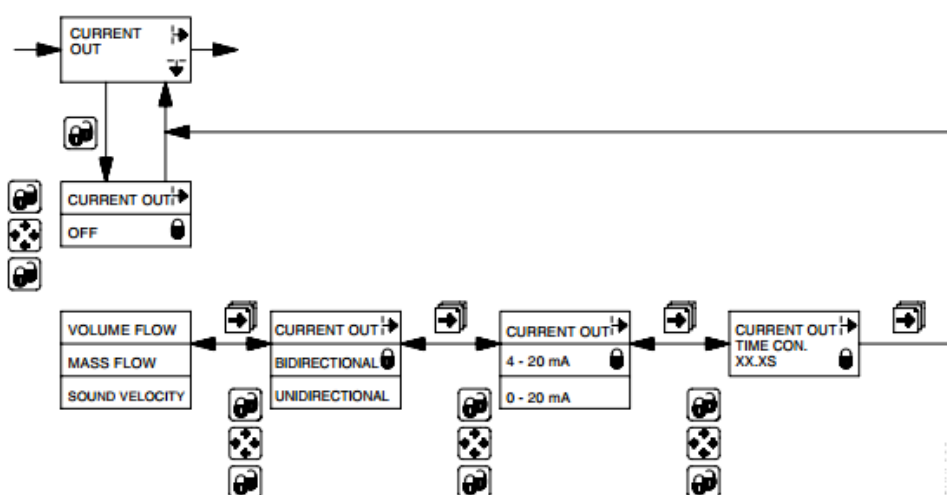


Figura 95. Navegación, selección y configuración de la salida por corriente para el sensor SONO 3100.

Fuente: (SIEMENS, 2006).

Los demás parámetros para el sensor como salida por pulso y frecuencia, alarmas y relés, parámetros del líquido como viscosidad, factor de corrección y densidad, no serán configurados ya que el líquido a tratar es agua y no lo es necesario. Las alarmas y detección de fallas serán tratadas por el controlador y software de monitoreo. A continuación se muestra todos los menús de navegación y posibles configuraciones para este sensor. Todos los sensores seleccionados para la instrumentación del acueducto El Ceibal – Azúa, deben ser configurados con estos parámetros.

La Figura 96 muestra los menús de OPERATOR MENU, SETUP MENU, CONVERTER SETUP MODE y BASIC SETTINGS.

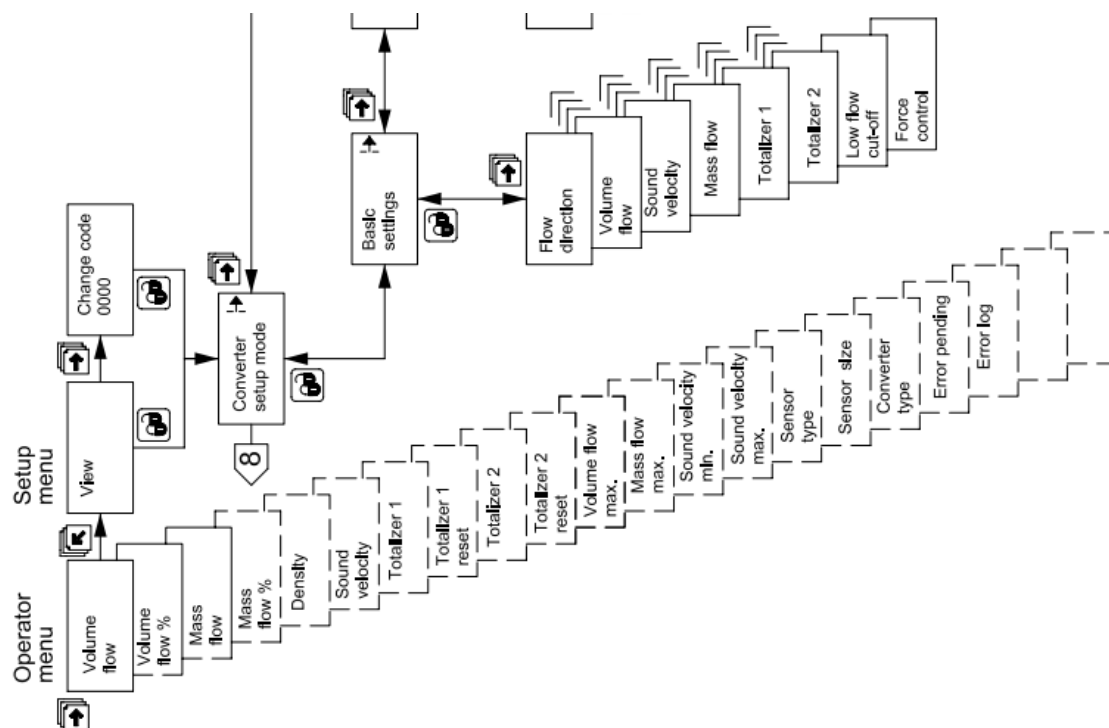


Figura 96. Vista completa del menú, parte 1/3, OPERATOR, SETUP, CONVERTER Y BASIC

Fuente: (SIEMENS, 2006).

La figura 97 muestra los menús OUTPUT SETUP, SENSOR CHARACTERISTICS, RESET MODE y SERVICE MODE.

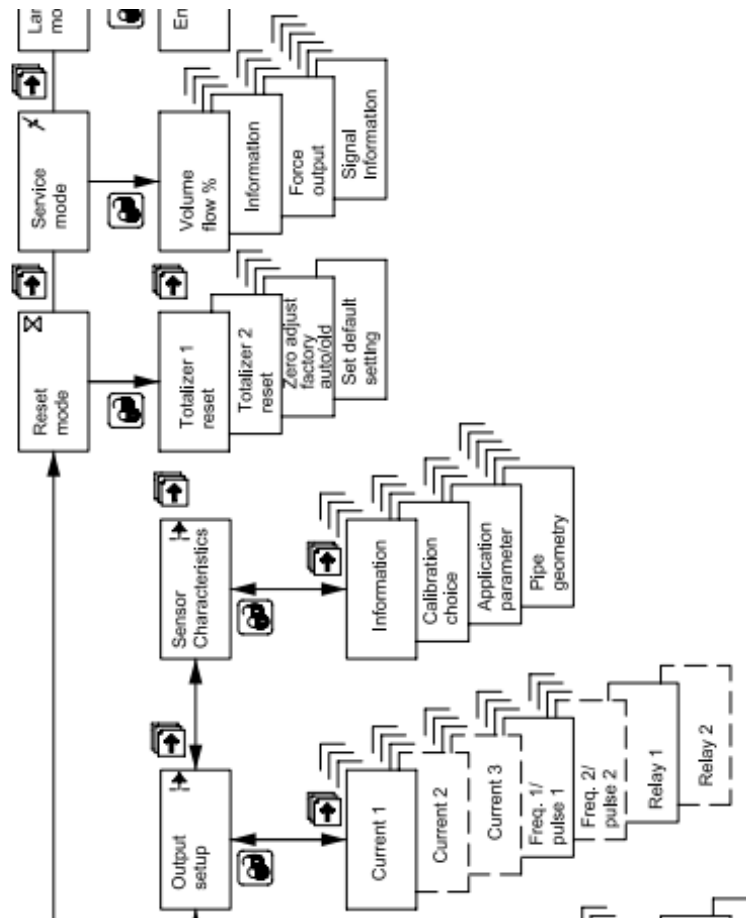


Figura 97. Vista completa del menú, parte 2/3, OUTPUT, CHARACTERISTICS, RESET, SERVICE

Fuente: (SIEMENS, 2006).

La Figura 98 muestra los menús LANGUAGE MODE, OPERATOR MENU SETUP, USER CODE SETUP.

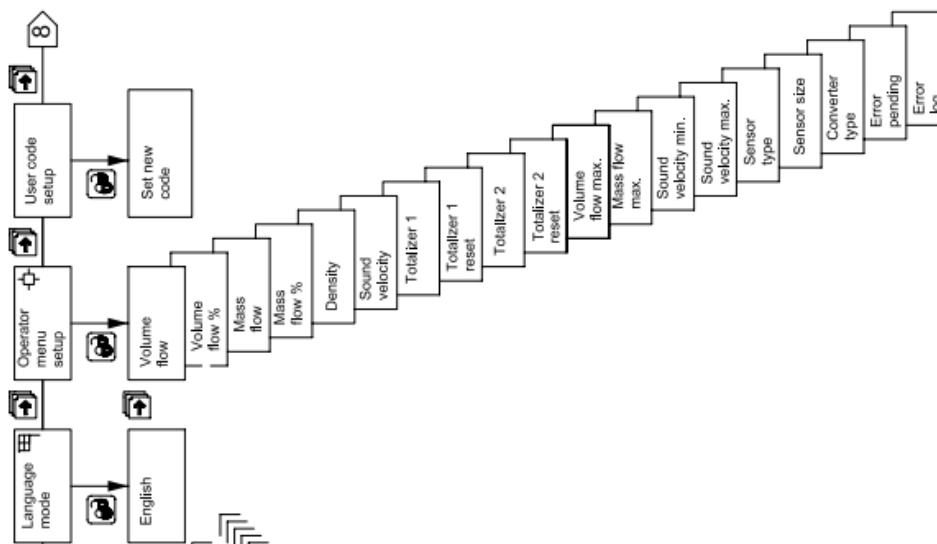


Figura 988. Vista completa del menú, parte 3/3, LANGUAGE, OPERATOR SETUP, USER CODE.

Fuente: (SIEMENS, 2006).

- **Sensor de presión Allen Bradley 836 E (Rockwell A. B., 2008).**

La interfaz de configuración de este sensor cuenta con tres botones, pantalla LCD y LED que permiten asistir en la navegación a través de la operación. La Figura 99 muestra la interfaz de configuración de este sensor.

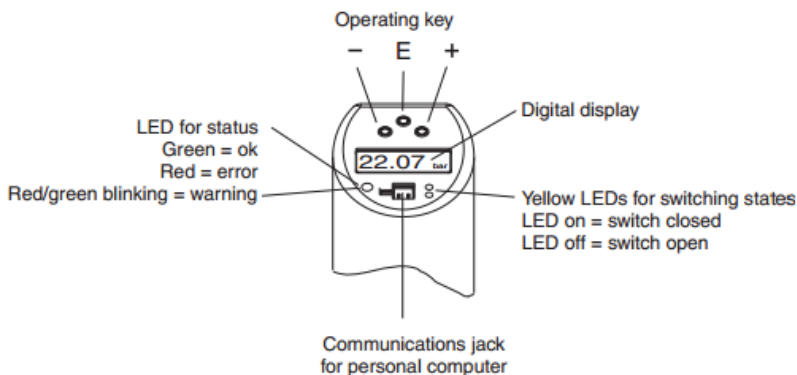





Figura 99. Interfaz de configuración, sensor AB 836E

Fuente: (Rockwell A. B., 2008)

Los sensores 836E, deben ser configurados para un rango de lectura de 0 a 600 PSI con una respuesta de corriente continua 4 a 20 mA.

- **Navegación a través del menú de programación:** La sección llamada A se refiere a Function Groups. La sección B se refiere a funciones individuales dentro de cada Function Group. La sección C identifica los posibles valores de cada función.
 - a) Para entrar en el menú de operación, mantener presionado en botón E por 3 segundos.
 - b) Una vez en modo de programación, desplazarse entre los Function Groups con los botones + y -.
 - c) Para entrar en uno de los Function Groups presionar el botón E.
 - d) Para desplazarse entre las funciones presionar repetidamente el botón E, luego presionar E para retornar a la opción de funciones.
 - e) Una vez dentro de la función deseada usar los botones + o – para cambiar el valor de la función.
 - f) Presionar E para aceptar el valor de la función.
 - g) Para grabar los cambios, mantener presionado el botón E por más de 3 segundos.
- **Configuraciones básicas:** La Tabla 40 muestra las configuraciones que se deben realizar para que el sensor cumpla con los requerimientos necesarios.


Tabla 40. Configuraciones básicas del sensor AB 836E

Base	Configuraciones básicas			
	BASE UNIT  	Unidad de medida, se debe seleccionar	BAR PSI KPA %	Selección de unidades técnicas: bar, psi, kPa, %.
	ZERO	Configurar el punto cero	0.00	Ajuste de posición dentro $\pm 20\%$ del límite del rango superior.
	GETZ	Aceptar el punto cero	0.00	Valor actual de punto cero.
	DISP	Display, se selecciona el dato a presentar en pantalla, se debe seleccionar PV.	PV PVRO SP SPRO OFF OFFR	Valor medido. Valor medido rotado. Punto de ajuste. Punto de ajuste rotado. Pantalla apagada. Pantalla apagada rotada.
	TAU	Valor de amortiguamiento, de la señal de salida.	0.0	Se puede seleccionar entre 0 a 40 segundos.
	DESI	Desina.	NO YES	Conexión con líneas de guía DESINA.

Fuente: (Rockwell A. B., 2008)

- **Configuraciones de respuesta:** La Tabla 41 muestra las configuraciones que se deben realizar para que el sensor cumpla con los requerimientos necesarios con relación a su respuesta.

Tabla 41. Configuraciones de respuesta del sensor AB 836E

4 – 20 mA		Salida Analógica			
	4 – 20	SETL	Menor valor de presión para 4 mA.	0.0	Valor de menor rango en incrementos de 0.1%
		SETU	Mayor valor de presión para 20 mA.	100.0	Valor de mayor rango en incrementos de 0.1%
		GETL	Presión aplicada para 4 mA.	0.0	Usar la presión medida como el menor valor.
		GETU	Presión aplicada para 20 mA.	600.0	Usar la presión medida como el mayor valor.
		FCUR	Error de corriente	de MIN MAX HOLD	Min = < 3.6 mA Max = > 21.0 mA HOLD = ultimo valor.

Fuente: (Rockwell A. B., 2008)

Los sensores seleccionados son para las tres estaciones de bombeo, uno en cada una, con rango de medida de 0 – 600 PSI y respuesta de 4 a 20 mA.

- **Sensor de nivel Siemens Ultrasonic The Probe.**

El sensor de nivel ultrasónico The Probe no es configurable por sí mismo, pero las especificaciones de trabajo y configuraciones por defecto de fábrica cumplen con todos los requerimientos. El rango de medida es de 0.25 m a 5.0 m, mientras que su respuesta es de 4 a 20 mA. Usando la medición proporcional, el nivel más alto del tanque es de 0.25 m (4.75 m desde el fondo) será 20 mA mientras que el nivel más bajo del tanque 5 m (fondo del tanque) corresponde 4 mA.

4.1.3.4. Adquisición de datos y señales para la instrumentación del acueducto Caza Lagarto – El Colorado.

- Adquisición de datos de los instrumentos seleccionados para la estación Caza Lagarto.

El PLC ControlLogix L1756 que será usado para la automatización de este punto deberá contar con un módulo de entradas analógicas modelo AB 1756-IF6I por el cual se adquiere los datos provenientes de los sensores Sparling Tigermag EP FM656, Allen Bradley 836E y tres sensores de PT100 de temperatura. Para realizar la adquisición de los datos se debe seguir los siguientes pasos.

- Selección y configuración por software del módulo de entradas analógicas AB 1756 IF6I.

Mediante el programa RSLogix 5000 dentro de un proyecto para el controlador AB L1756 con un chasis para cinco módulos (Ethernet, Entradas digitales, Salidas Digitales, Entradas Analógicas), se añade el AB 1756-IF6I en el slot 4 configurándolo con los siguientes parámetros presentados en la Figura 100.

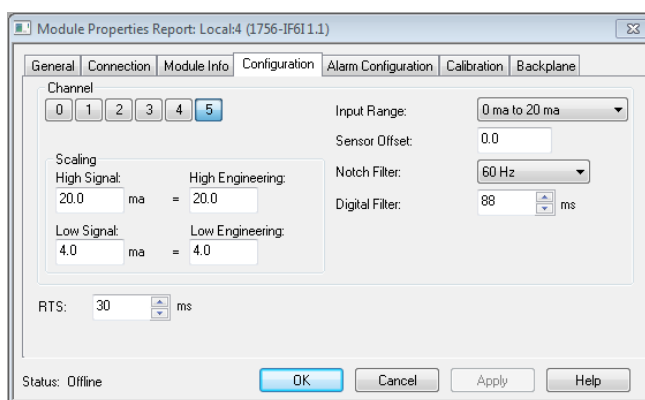


Figura 100: Configuración del módulo de entradas analógicas aisladas 1756-IF6I, RSLogix 5000

- **Lectura y almacenamiento de las señales analógicas.** Los datos adquiridos por el módulo con una resolución de 16 bits serán nombrados de la siguiente manera, mostrados en la Tabla 42.

Tabla 42. Tags para las señales y variables de instrumentación en Caza Lagarto

Dirección (4 – 20 mA)	Valores lectura (0 - 32768)	Tag
I4.00	CL_CAU1	CL_CAUD_IMP (0-1200 LPS)
I4.01	CL_PRE1	CL_PRE_IMP (0-600 PSI)
I4.02	CL_T1	CL_TEMP_P01 (20-300 °C)
I4.03	CL_T2	CL_TEMP_P02 (20-300 °C)
I4.04	CL_T3	CL_TEMP_P03 (20-300 °C)

- Escalamiento de los valores de lectura a los tag de almacenamiento para el sensor de caudal.

Rango de ingreso: min = 0, max = 32768 (DATOS ENTEROS → CL_CAU1)

Rango de salida (Tags): min = 0.0, max = 1200.0 (DATOS FLOTANTES → CL_CAUD_IMP)

Con el objetivo de encontrar una relación entre los datos de ingreso y salida para el escalamiento del mismo, se desarrolla la siguiente ecuación, siendo caudal (0 – 1200 LPS), DatosInC (0 - 32768).

$$\text{Caudal} = 0.036621 * \text{DatosInC}$$

- Escalamiento de los valores de lectura a los tag de almacenamiento para el sensor de presión.

Rango de ingreso: min = 0, max = 32768 (DATOS ENTEROS → CL_PRE1)

Rango de salida (Tags): min = 0.0, max = 600.0 (DATOS FLOTANTES → CL_PRE_IMP)

Con el objetivo de encontrar una relación entre los datos de ingreso y salida para el escalamiento del mismo, se desarrolla la siguiente ecuación, siendo presión (0 – 600 PSI), DatosInP (0 - 32768).

$$Presion = 0.018311 * DatosInP$$

- iii. Escalamiento de los valores de lectura a los tag de almacenamiento para los sensores de temperatura.

Rango de ingreso: min = 0, max = 32768 (DATOS ENTEROS → CL_T1)

Rango de salida (Tags): min = 20.0, max = 300.0 (DATOS FLOTANTES → CL_TEMP_P01)

Con el objetivo de encontrar una relación entre los datos de ingreso y salida para el escalamiento del mismo, se desarrolla la siguiente ecuación, siendo temperatura (20 – 300 °C), DatosInPT (0 - 32768). La ecuación aplica también para CL_TEMP_P01 y CL_TEMP_P02.

$$Temperatura = 0.009155 * DatosInT + 20$$

- **Adquisición de datos de los instrumentos seleccionados para el tanque Mocochoal.**

El PLC ControlLogix L1756 seleccionado para la automatización de este punto deberá contar con un módulo de entradas analógicas modelo AB 1756-IF6I por el cual se adquiere los datos provenientes de los sensores Sparling Tigermag EP FM656 y Siemens The Probe. Para realizar la adquisición de los datos se debe seguir los siguientes pasos.

El primer paso consiste en la configuración y selección del módulo de entradas analógicas, el cual es AB 1756-IF6I, la configuración y sus parámetros fueron presentados en la Figura 100, además este módulo debe encontrarse en el slot 3.

- **Lectura y almacenamiento de las señales analógicas.** Los datos adquiridos por el módulo con una resolución de 16 bits serán nombrados como se muestra en la Tabla 43.

Tabla 43. Tags para las señales y variables de instrumentación en Mocochoal

Dirección (4 – 20 mA)	Valores lectura (0 - 327638)	Tag
I3.00	MC_CAU1	MC_CAU (0 – 1200 LPS)
I3.01	MC_NIV1	MC_NIV (0.25 – 5.0 m)

- Escalamiento de los valores de lectura a los tag de almacenamiento para el sensor de caudal.

Rango de ingreso: min = 0, max = 32768 (DATOS ENTEROS → MC_CAU1)

Rango de salida (Tags): min = 0.0, max = 1200.0 (DATOS FLOTANTES → MC_CAU)

Con el objetivo de encontrar una relación entre los datos de ingreso y salida para el escalamiento del mismo, se desarrolla la siguiente ecuación, siendo caudal (0 – 1200 LPS), DatosInC (0 - 32768).

$$Caudal = 0.036621 * DatosInC$$

- Escalamiento de los valores de lectura a los tag de almacenamiento para el sensor de nivel.

Rango de ingreso: min = 0, max = 32768 (DATOS ENTEROS → MC_NIV1).

Rango de salida (Tags): min = 0.25, max = 5.0 (DATOS FLOTANTES → MC_NIV)

Con el objetivo de encontrar una relación entre los datos de ingreso y salida para el escalamiento del mismo, se desarrolla la siguiente ecuación, siendo nivel (0.25 – 5.0 m), DatosInN (0 - 32768).

$$\text{Nivel} = 0.000145 * \text{DatosInN} + 0.25$$

- **Adquisición de datos de los instrumentos seleccionados para la interconexión Loma Blanca.**

El PLC ControlLogix L1756 seleccionado para la automatización de este punto deberá contar con un módulo de entradas analógicas modelo AB 1756-IF6I por el cual se adquiere los datos provenientes de dos sensores Sparling Tigermag EP FM656. Para realizar la adquisición de los datos se debe seguir los siguientes pasos.

El primer paso consiste en la configuración y selección del módulo de entradas analógicas, el cual es AB 1756-IF6I, la configuración y sus parámetros fueron presentados en la Figura 4.10, además este módulo debe encontrarse en el slot 2.

- **Lectura y almacenamiento de las señales analógicas.** Los datos adquiridos por el módulo con una resolución de 16 bits serán nombrados como se muestra en la Tabla 4.21.

Tabla 44. Tags para las señales y variables de instrumentación en Loma Blanca.

Dirección (4 – 20 mA)	Valores lectura (0 - 327638)	Tag
I2.00	LB_CAU_I	LB_CAU_IN (0 – 1200 LPS)
I2.01	LB_CAU_O	LB_CAU_OUT (0 – 1200 LPS)

- Escalamiento de los valores de lectura a los tag de almacenamiento para el sensor de caudal de ingreso.

Rango de ingreso: min = 0, max = 32768 (DATOS ENTEROS → LB_CAU_I)

Rango de salida (Tags): min = 0.0, max = 1200.0 (DATOS FLOTANTES → LB_CAU_IN)

Con el objetivo de encontrar una relación entre los datos de ingreso y salida para el escalamiento del mismo, se desarrolla la siguiente ecuación, siendo caudal (0 – 1200 LPS), DatosInC (0 - 32768). La ecuación también aplica para LB_CAU_OUT.

$$Caudal = 0.036621 * DatosInC$$

- **Adquisición de datos de los instrumentos seleccionados para la estación Río de Oro.**

El PLC ControlLogix L1756 seleccionado para la automatización de este punto deberá contar con un módulo de entradas analógicas modelo AB 1756-IF6I por el cual se adquiere los datos provenientes de los sensores Sparling Tigermag EP FM656, Siemens The Probe, Allen Bradley 836E, PT100. Para realizar la adquisición de los datos se debe seguir los siguientes pasos.

El primer paso consiste en la configuración y selección del módulo de entradas analógicas, el cual es AB 1756-IF6I, la configuración y sus parámetros fueron presentados en la Figura 4.10, además este módulo debe encontrarse en el slot 4.

- **Lectura y almacenamiento de las señales analógicas.** Los datos adquiridos por el módulo con una resolución de 16 bits serán nombrados como se muestra en la Tabla 45.

Tabla 45. Tags para las señales y variables de instrumentación en Río de Oro

Dirección (4 – 20 mA)	Valores lectura (0 - 327638)	Tag
I4.00	RO_CAU1	RO_CAU_IN (0-1200 LPS)
I4.01	RO_CAU2	RO_CAU_IMP (0-1200 LPS)
I4.02	RO_PRE1	RO_PRE_IMP (0-600 PSI)
I4.03	RO_NIV1	RO_NIV (0.25-5 m)
I4.04	RO_T1	RO_TEMP_P01 (20-250 °C)
I4.05	RO_T2	RO_TEMP_P02 (20-250 °C)

- i. Escalamiento de los valores de lectura a los tag de almacenamiento para el sensor de caudal.

Rango de ingreso: min = 0, max = 32768 (DATOS ENTEROS → RO_CAU1)

Rango de salida (Tags): min = 0.0, max = 1200.0 (DATOS FLOTANTES → RO_CAU_IN)

Con el objetivo de encontrar una relación entre los datos de ingreso y salida para el escalamiento del mismo, se desarrolla la siguiente ecuación, siendo caudal (0 – 1200 LPS), DatosInC (0 - 32768). La ecuación también aplica para la variable RO_CAU_IMP

$$\text{Caudal} = 0.036621 * \text{DatosInC}$$

- ii. Escalamiento de los valores de lectura a los tag de almacenamiento para el sensor de presión.

Rango de ingreso: min = 0, max = 32768 (DATOS ENTEROS → RO_PRE1)

Rango de salida (Tags): min = 0.0, max = 600.0 (DATOS FLOTANTES → RO_PRE_IMP)

Con el objetivo de encontrar una relación entre los datos de ingreso y salida para el escalamiento del mismo, se desarrolla la siguiente ecuación, siendo presión (0 – 600 PSI), DatosInP (0 - 32768).

$$Presion = 0.018311 * DatosInP$$

- iii. Escalamiento de los valores de lectura a los tag de almacenamiento para los sensores de temperatura.

Rango de ingreso: min = 0, max = 32768 (DATOS ENTEROS -> RO_T1)

Rango de salida (Tags): min = 20.0, max = 250.0 (DATOS FLOTANTES -> RO_TEMP_P01)

Con el objetivo de encontrar una relación entre los datos de ingreso y salida para el escalamiento del mismo, se desarrolla la siguiente ecuación, siendo temperatura (20 –250 °C), DatosInPT (0 - 32768). La ecuación aplica también para RO_TEMP_P02.

$$Temperatura = 0.007019 * DatosInT + 20$$

- iv. Escalamiento de los valores de lectura a los tag de almacenamiento para el sensor de nivel.

Rango de ingreso: min = 0, max = 32768 (DATOS ENTEROS -> RO_NIV1)

Rango de salida (Tags): min = 0.25, max = 5.0 (DATOS FLOTANTES -> RO_NIV)

Con el objetivo de encontrar una relación entre los datos de ingreso y salida para el escalamiento del mismo, se desarrolla la siguiente ecuación, siendo nivel (0.25 – 5.0 m), DatosInN (0 - 32768).

$$Nivel = 0.000145 * DatosInN + 0.25$$

- **Adquisición de datos de los instrumentos seleccionados para la interconexión Las Palmas.**

El PLC ControlLogix L1756 seleccionado para la automatización de este punto deberá contar con un módulo de entradas analógicas modelo AB 1756-IF6I por el cual se adquiere los datos provenientes del sensor Sparling Tigermag EP FM656. Para realizar la adquisición de los datos se debe seguir los siguientes pasos.

El primer paso consiste en la configuración y selección del módulo de entradas analógicas, el cual es AB 1756-IF6I, la configuración y sus parámetros fueron presentados en la Figura 4.10, además este módulo debe encontrarse en el slot 2.

- **Lectura y almacenamiento de las señales analógicas.** Los datos adquiridos por el módulo con una resolución de 16 bits serán nombrados como se muestra en la Tabla 46.

Tabla 46. Tags para las señales y variables de instrumentación en Las Palmas

Dirección (4 – 20 mA)	Valores lectura (0 - 327638)	Tag
I2.00	LP_CAU_I	LP_CAU (0 – 1200 LPS)

- Escalamiento de los valores de lectura a los tag de almacenamiento para el sensor de caudal.

Rango de ingreso: min = 0, max = 32768 (DATOS ENTEROS → LP_CAU1)

Rango de salida (Tags): min = 0.0, max = 1200.0 (DATOS FLOTANTES → LP_CAU)

Con el objetivo de encontrar una relación entre los datos de ingreso y salida para el escalamiento del mismo, se desarrolla la siguiente ecuación, siendo caudal (0 – 1200 LPS), DatosInC (0 - 32768).

$$\text{Caudal} = 0.036621 * \text{DatosInC}$$

- **Adquisición de datos de los instrumentos seleccionados para la estación El Colorado.**

El PLC ControlLogix L1756 seleccionado para la automatización de este punto deberá contar con un módulo de entradas analógicas modelo AB 1756-IF6I por el cual se adquiere los datos provenientes del sensor Sparling Tigermag EP FM656. Para realizar la adquisición de los datos se debe seguir los siguientes pasos.

El primer paso consiste en la configuración y selección del módulo de entradas analógicas, el cual es AB 1756-IF6I, la configuración y sus parámetros fueron presentados en la Figura 4.10, además este módulo debe encontrarse en el slot 2.

- **Lectura y almacenamiento de las señales analógicas.** Los datos adquiridos por el módulo con una resolución de 16 bits serán nombrados como se muestra en la Tabla 47.

Tabla 47. Tags para las señales y variables de instrumentación en El Colorado

Dirección (4 – 20 mA)	Valores lectura (0 - 327638)	Tag
I2.00	COL_CAU_I	COL_CAU (0 – 1200 LPS)

- Escalamiento de los valores de lectura a los tag de almacenamiento para el sensor de caudal.

Rango de ingreso: min = 0, max = 32768 (DATOS ENTEROS → COL_CAU1)

Rango de salida (Tags): min = 0.0, max = 1200.0 (DATOS FLOTANTES -> COL_CAU)

Con el objetivo de encontrar una relación entre los datos de ingreso y salida para el escalamiento del mismo, se desarrolla la siguiente ecuación, siendo caudal (0 – 1200 LPS), DatosInC (0 - 32768).

$$Caudal = 0.036621 * DatosInC$$

4.1.3.5. Adquisición de datos y señales para la instrumentación del acueducto EL Ceibal – Azúa.

- **Adquisición de datos de los instrumentos seleccionados para la estación EL Ceibal.**

El PLC ControlLogix L1756 seleccionado para la automatización de este punto deberá contar con un módulo de entradas analógicas modelo AB 1756-IF8 por el cual se adquiere los datos provenientes de los sensores Siemens SITRANS F US SONO 3100, Siemens The Probe, Allen Bradley 836E, PT100. Para realizar la adquisición de los datos se debe seguir los siguientes pasos.

- **Selección y configuración por software del módulo de entradas analógicas AB 1756 IF8.**

Mediante el programa RSLogix 5000 dentro de un proyecto para el controlador AB L1756 con un chasis para cinco módulos (Ethernet, Entradas digitales, Salidas Digitales, Entradas Analógicas), se añade el AB 1756-IF8 en el slot 4 configurándolo con los siguientes parámetros presentados en la Figura 101.

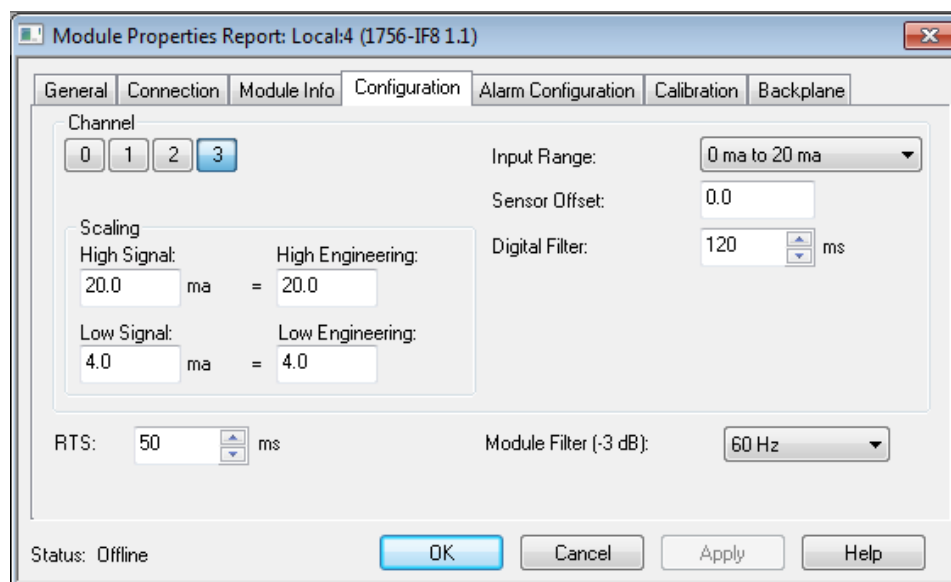


Figura 101. Configuración del módulo de entradas analógicas AB 1756-IF8

- **Lectura y almacenamiento de las señales analógicas.** Los datos adquiridos por el módulo con una resolución de 16 bits serán nombrados como se muestra en la Tabla 48.

Tabla 48. Tags para las señales y variables de instrumentación en El Ceibal

Dirección (4 – 20 mA)	Valores lectura (0 - 327638)	Tag
I4.00	ECE_CAU1	ECE_CAU_IMP (0-1400 LPS)
I4.01	ECE_PRE1	ECE_PRE_IMP (0-600 PSI)
I4.02	ECE_NIV1	ECE_NIV (0.25-5.0m)
I4.03	ECE_T1	ECE_TEMP_P01 (20-250°C)
I4.04	ECE_T2	ECE_TEMP_P02 (20-250°C)
I4.05	ECE_T3	ECE_TEMP_P03 (20-250°C)
I4.06	ECE_T4	ECE_TEMP_P04 (20-250°C)

- i. Escalamiento de los valores de lectura a los tag de almacenamiento para el sensor de caudal.

Rango de ingreso: min = 0, max = 32768 (DATOS ENTEROS → ECE_CAU1)

Rango de salida (Tags): min = 0.0, max = 1400.0 (DATOS FLOTANTES → ECE_CAU_IMP)

Con el objetivo de encontrar una relación entre los datos de ingreso y salida para el escalamiento del mismo, se desarrolla la siguiente ecuación, siendo caudal (0 – 1400 LPS), DatosInC (0 - 32768).

$$Caudal = 0.042725 * DatosInC$$

- ii. Escalamiento de los valores de lectura a los tag de almacenamiento para el sensor de presión.

Rango de ingreso: min = 0, max = 32768 (DATOS ENTEROS → ECE_PRE1)

Rango de salida (Tags): min = 0.0, max = 600.0 (DATOS FLOTANTES → ECE_PRE_IMP)

Con el objetivo de encontrar una relación entre los datos de ingreso y salida para el escalamiento del mismo, se desarrolla la siguiente ecuación, siendo presión (0 – 600 PSI), DatosInP (0 - 32768).

$$Presion = 0.018311 * DatosInP$$

- iii. Escalamiento de los valores de lectura a los tag de almacenamiento para los sensores de temperatura.

Rango de ingreso: min = 0, max = 32768 (DATOS ENTEROS → ECE_T1)

Rango de salida (Tags): min = 20.0, max = 250.0 (DATOS FLOTANTES → ECE_TEMP_P01)

Con el objetivo de encontrar una relación entre los datos de ingreso y salida para el escalamiento del mismo, se desarrolla la siguiente ecuación, siendo temperatura (20 – 250 °C), DatosInPT (0 - 32768). La ecuación aplica también para ECE_TEMP_P02, ECE_TEMP_P03, ECE_TEMP_P04.

$$\text{Temperatura} = 0.007019 * \text{DatosInT} + 20$$

- iv. Escalamiento de los valores de lectura a los tag de almacenamiento para el sensor de nivel.

Rango de ingreso: min = 0, max = 32768 (DATOS ENTEROS → ECE_NIV1)

Rango de salida (Tags): min = 0.25, max = 5.0 (DATOS FLOTANTES → ECE_NIV)

Con el objetivo de encontrar una relación entre los datos de ingreso y salida para el escalamiento del mismo, se desarrolla la siguiente ecuación, siendo nivel (0.25 – 5.0 m), DatosInN (0 - 32768).

$$\text{Nivel} = 0.000145 * \text{DatosInN} + 0.25$$

- **Adquisición de datos de los instrumentos seleccionados para el tanque Cruz Verde.**

El PLC ControlLogix L1756 seleccionado para la automatización de este punto deberá contar con un módulo de entradas analógicas modelo AB 1756-IF6I por el cual se adquiere los datos provenientes de los sensores Siemens SITRANS F US SONO 3100 y Siemens The Probe. Para realizar la adquisición de los datos se debe seguir los siguientes pasos.

El primer paso consiste en la configuración y selección del módulo de entradas analógicas, el cual es AB 1756-IF6I, la configuración y sus parámetros fueron presentados en la Figura 4.10, además este módulo debe encontrarse en el slot 3.

- **Lectura y almacenamiento de las señales analógicas.** Los datos adquiridos por el módulo con una resolución de 16 bits serán nombrados como se muestra en la Tabla 49.

Tabla 49. Tags para las señales y variables de instrumentación en Cruz Verde

Dirección (4 – 20 mA)	Valores lectura (0 - 32768)	Tag
I3.00	CV_CAU1	CV_CAU (0-1400 LPS)
I3.01	CV_NIV1	CV_NIV (0.25-5.0 m)

- i. Escalamiento de los valores de lectura a los tag de almacenamiento para el sensor de caudal.

Rango de ingreso: min = 0, max = 32768 (DATOS ENTEROS → CV_CAU1)

Rango de salida (Tags): min = 0.0, max = 1400.0 (DATOS FLOTANTES → CV_CAU)

Con el objetivo de encontrar una relación entre los datos de ingreso y salida para el escalamiento del mismo, se desarrolla la siguiente ecuación, siendo caudal (0 – 1400 LPS), DatosInC (0 - 32768).

$$Caudal = 0.042725 * DatosInC$$

- ii. Escalamiento de los valores de lectura a los tag de almacenamiento para el sensor de nivel.

Rango de ingreso: min = 0, max = 32768 (DATOS ENTEROS → CV_NIV1)

Rango de salida (Tags): min = 0.25, max = 5.0 (DATOS FLOTANTES -> CV_NIV)

Con el objetivo de encontrar una relación entre los datos de ingreso y salida para el escalamiento del mismo, se desarrolla la siguiente ecuación, siendo nivel (0.25 – 5.0 m), DatosInN (0 - 32768).

$$\text{Nivel} = 0.000145 * \text{DatosInN} + 0.25$$

- **Adquisición de datos de los instrumentos seleccionados para el tanque Intermedio.**

El PLC ControlLogix L1756 seleccionado para la automatización de este punto deberá contar con un módulo de entradas analógicas modelo AB 1756-IF6I por el cual se adquiere los datos provenientes de los sensores Siemens SITRANS F US SONO 3100 y Siemens The Probe. Para realizar la adquisición de los datos se debe seguir los siguientes pasos. El primer paso consiste en la configuración y selección del módulo de entradas analógicas, el cual es AB 1756-IF6I, la configuración y sus parámetros fueron presentados en la Figura 100, además este módulo debe encontrarse en el slot 3.

- **Lectura y almacenamiento de las señales analógicas.** Los datos adquiridos por el módulo con una resolución de 16 bits serán nombrados como se muestra en la Tabla 50.

Tabla 50. Tags para las señales y variables de instrumentación en Intermedio

Dirección (4 – 20 mA)	Valores lectura (0 - 327638)	Tag
I3.00	INT_CAUI	INT_CAUI_IN (0-1400 LPS)
I3.01	INT_CAUI2	INT_CAUI_DES (0-1400 LPS)
I3.02	INT_NIV1	INT_NIV (0.25 – 5.0 m)

- Escalamiento de los valores de lectura a los tag de almacenamiento para el sensor de caudal.

Rango de ingreso: min = 0, max = 32768 (DATOS ENTEROS → INT_CAU1)

Rango de salida (Tags): min = 0.0, max = 1400.0 (DATOS FLOTANTES → INT_CAU_IN)

Con el objetivo de encontrar una relación entre los datos de ingreso y salida para el escalamiento del mismo, se desarrolla la siguiente ecuación, siendo caudal (0 – 1400 LPS), DatosInC (0 - 32768). La ecuación también aplica para INT_CAU_DES.

$$Caudal = 0.042725 * DatosInC$$

- ii. Escalamiento de los valores de lectura a los tag de almacenamiento para el sensor de nivel.

Rango de ingreso: min = 0, max = 32768 (DATOS ENTEROS → INT_NIV1)

Rango de salida (Tags): min = 0.25, max = 5.0 (DATOS FLOTANTES → INT_NIV)

Con el objetivo de encontrar una relación entre los datos de ingreso y salida para el escalamiento del mismo, se desarrolla la siguiente ecuación, siendo nivel (0.25 – 5.0 m), DatosInN (0 - 32768).

$$Nivel = 0.000145 * DatosInN + 0.25$$

- **Adquisición de datos de los instrumentos seleccionados para la estación Azúa.**

El PLC ControlLogix L1756 seleccionado para la automatización de este punto deberá contar con un módulo de entradas analógicas modelo AB 1756-IF6I por el cual se adquiere los datos provenientes del sensor Siemens SITRANS F US SONO 3100. Para realizar la adquisición de los datos se debe seguir los siguientes pasos.

El primer paso consiste en la configuración y selección del módulo de entradas analógicas, el cual es AB 1756-IF6I, la configuración y sus parámetros fueron presentados en la Figura 100, además este módulo debe encontrarse en el slot 2.

- **Lectura y almacenamiento de las señales analógicas.** Los datos adquiridos por el módulo con una resolución de 16 bits serán nombrados como se muestra en la Tabla 51.

Tabla 51. Tags para las señales y variables de instrumentación en Azúa

Dirección (4 – 20 mA)	Valores lectura (0 - 32768)	Tag
I2.00	AZ_CAU1	AZ_CAU (0-1400 LPS)

- Escalamiento de los valores de lectura a los tag de almacenamiento para el sensor de caudal.

Rango de ingreso: min = 0, max = 32768 (DATOS ENTEROS → AZ_CAU1)

Rango de salida (Tags): min = 0.0, max = 1400.0 (DATOS FLOTANTES → AZ_CAU)

Con el objetivo de encontrar una relación entre los datos de ingreso y salida para el escalamiento del mismo, se desarrolla la siguiente ecuación, siendo caudal (0 – 1400 LPS), DatosInC (0 - 32768).

$$Caudal = 0.042725 * DatosInC$$

4.1.3.6. Selección de conductores eléctricos para alimentación y respuesta de sensores.

Para el correcto funcionamiento y protección de los instrumentos seleccionados se debe escoger o dimensionar conductores eléctricos que aseguren la confiabilidad de la señal eléctrica. Además es importante que los sensores de caudal cuenten con fusibles en la línea de alimentación protegiendo el equipo de sobre tensiones y corrientes relativamente altas.

- **Sensor de caudal Sparling Tigermag EP FM656.**

El sensor trabaja con los siguientes parámetros de alimentación, 120 V AC / 60 HZ / 20 W / 170 mA.

- Conductor, considerando que la corriente de alimentación del sensor no sea mayor al 80 % de la capacidad del conductor y temperatura de servicio menor a 95 °C, según las tablas de selección para conductores con normas AWG, se selecciona un cable calibre AWG 24 flexible tanto para fase como para neutro.

- **Sensor de caudal Siemens SITRANS F US SONO 3100.**

El sensor trabaja con los siguientes parámetros de alimentación, 120 V AC / 60 HZ / 20 VA / 160 mA.

- Conductor, considerando que la corriente de alimentación del sensor no sea mayor al 80 % de la capacidad del conductor y temperatura de servicio menor a 95 °C, según las tablas de selección para conductores con normas AWG, se selecciona un cable calibre AWG 24 flexible tanto para fase como para neutro.

- **Sensor de presión Allen Bradley 836 E.**

El sensor trabaja con los siguientes parámetros de alimentación, 24 V DC / 100 mA.

- Conductor, considerando que la corriente de alimentación del sensor no sea mayor al 80 % de la capacidad del conductor y temperatura de servicio menor a 95 °C, según las tablas de selección para conductores con normas AWG, se selecciona un cable calibre AWG 24 flexible tanto para positivo como negativo.

- **Sensor de nivel Siemens The Probe.**

El sensor trabaja con los siguientes parámetros de alimentación, 24 V DC / 100 mA. La selección del conductor para este sensor será la misma que para el sensor de presión, considerando los mismos parámetros se selecciona un cable calibre AWG 24 flexible tanto para positivo como negativo.

- **Señal de salida, 4 – 20 mA / $Z_{max} = 800\Omega$ para sensores.**

Para la respuesta de este sensor el fabricante de los sensores tanto Sparling como Siemens recomiendan usar un cable coaxial que permite eliminar las interferencias así como aislar la señal, y debe contar con las siguientes características. El cable también será usado para los sensores de presión y nivel.

- Impedancia del cable $Z = 25\Omega$.
- Diámetro interno 1 x 0.8 mm,
- Diámetro exterior con capa protectora 1 x 5.8 mm.
- $L_{max} = 250m$ entre sensor y controlador / registrador

El módulo de entradas analógicas posee una impedancia de entrada de 249Ω , dentro del rango requerido. Las longitudes máximas que existen entre el punto de instalación del

sensor y el punto de ubicación del controlador no son mayores a los 30 m, por lo tanto es suficiente la longitud del cable seleccionado.

4.1.3.7. Parametrizar cada uno de los instrumentos a usarse.

Con el objetivo de poder usar diferentes equipos, instrumentos o diseños para el sistema de instrumentación, es necesario establecer parámetros que ayuden a la selección de elementos diferentes a los escogidos pero que cumplan con la misma función y requerimientos.

- **Medición de caudal.**

La selección de medidores de caudal debe ser basada en los siguientes parámetros.

- i. Instalación en tuberías de 400 mm, 450 mm, 500 mm, 600 mm y 800 mm de diámetro.
- ii. Rangos de medida a escala completa y reducida, 0 – 1400 LPS para El Ceibal – Azúa y de 0 – 1200 LPS para Caza Lagarto – El Colorado.
- iii. Programación y configuración de los instrumentos, tanto para rango y unidad de medida (GPH, LPS, M3H, etc.), respuesta en corriente, voltaje o frecuencia.
- iv. Diferentes tipos de respuesta, analógicas en corriente 4 a 20 mA y voltaje 0 – 10 V DC, frecuencia ancho de pulso.
- v. Normas de seguridad para ubicaciones peligrosas y protección en operación.

- **Medición de nivel.**

- i. Rangos de medida de 0.0 – 5.0 m, para cubrir toda el nivel de los tanques desde el fondo hasta la parte superior. Angulo de haz similar a 10° .
- ii. Respuesta analógica en corriente 4 a 20 mA y voltaje 0 – 10 V DC.
- iii. Principio de medición ultrasónico, solo líquidos.
- iv. Normas de seguridad para ubicaciones peligrosas y protección del equipo.

- **Medición de Presión.**

- i. Instalación en tuberías de diversos diámetros y materiales.
- ii. Programación y configuración de los instrumentos, tanto para rango y unidad de medida (PSI, BAR), respuesta en corriente, voltaje o frecuencia.
- iii. Rangos de medida configurable, necesario 0 – 600 PSI.
- iv. Normas de seguridad para ubicaciones peligrosas y protección del equipo.

- **Adquisición de datos.**

- i. Controlador modular, módulo de entradas analógicas de seis y ocho canales tanto para corriente como voltaje.
- ii. Resolución del convertidor analógico a digital 16 bits.
- iii. Controlador pueda operar datos enteros y flotantes.
- iv. Impedancia de entrada menor a 800Ω .

- v. Rangos de entrada, 0 – 5 V, 0 – 10 V, -10 - 10 V, 0 a 20 mA, 4 a 20 mA.

4.2. Ingeniería de Detalle para el sistema de Control.

4.2.1. Levantamiento de planos y diagramas eléctricos de montaje

4.2.1.1. Diagramas eléctricos para conexión de tableros de control en el acueducto Caza Lagarto - El Colorado.

- **Diagramas eléctricos para conexión de tableros de control en estación de bombeo Caza Lagarto.**

Se elaboraron tres planos para la conexión del tablero de control de la estación los cuales son detallados a continuación, CAZ LAGARTO 001, este diagrama cuenta con 20 borneras de conexión para 110 V AC, a este punto se debe conectar los elementos de maniobra como selector de modo manual/automático, interruptores para el arranque o paro de las bombas y conexiones a contactos de relés para la activación de los arrancadores, por último el diagrama cuenta con las conexiones de borneras para Neutro, donde se conectara los neutros de luces pilotos, bobinas de relés, etc. El diagrama CAZA LAGARTO 002 muestra las conexiones de los módulos de entradas digitales 1756-IA16 y los dispositivos de maniobra, salidas digitales 1756-OA16 y las luces pilotos así como bobinas de relés. El diagrama CAZA LAGARTO 003 muestra las conexiones entre el motor trifásico de 600 HP, arrancador suave ABB SSM y el control desde el PLC para el arranque y paro de las bombas, además se muestra las conexiones de 24 V DC y tierra para diferentes dispositivos como el sensor de presión AB 836E. La Tabla 52 muestra los elementos que son parte de los diagramas eléctricos para los tableros de control en la estación de bombeo Caza Lagarto. Todos los diagramas eléctricos se encuentran en la sección de anexos con los nombres ya mencionados.

Tabla 52. Partes y elementos existentes en los diagramas de conexión eléctrica, estación Caza Lagarto

DIAGRAMA 001	DIAGRAMA 002	DIAGRAMA 003
20 Borneras de conexión a 110 V AC	1 módulo de entradas digitales 1756-IA16	3 arrancadores suaves ABB SSM 2300 V/600 HP
20 Borneras de conexión a Neutro	1 módulo de salidas digitales 1756-OA16	3 Motores Trifásicos, 600 HP, 2300 V
1 Switch selector de dos posiciones normalmente abierto	6 relés y sus bobinas a 110 V AC	10 Borneras para conexión de 24 V DC
6 Switch normalmente abierto	5 Luces piloto verdes	10 Borneras para conexión de tierra o GND
1 Interruptor de nivel	3 Luces piloto rojas	
3 Contactos normalmente abiertos de relé		
3 Contactos normalmente cerrados de relé		

- **Diagramas eléctricos para conexión de tableros de control en tanque El Mocochal.**

Se elabora un plano eléctrico para conexión de tableros de control como parte de la automatización de la operación del tanque Mocochal, el diagrama muestra las conexiones de, módulo de salidas digitales 1756-AO8D, borneras de 110 V AC, Neutro, 24 V DC, GND y actuador para válvula de descarga. La lista de componentes presentes en el diagrama se presentan a continuación, el plano se lo encuentra en la sección de anexos con el nombre de TANQUE MOCOCHAL 001.

– Módulo de salidas digitales 1756-OA8.

– 2 Luces piloto rojas.

- 1 Luz piloto verde.
- 1 Relé, contacto normalmente abierto.
- 1 Actuador para válvula, motor eléctrico monofásico.
- 10 Borneras de conexión para 110 V AC.
- 10 Borneras de conexión para Neutro.
- 5 Borneras de conexión para 24 V DC.
- 5 Borneras de conexión para GND.

- **Diagramas eléctricos para conexión de tableros de control en interconexión, Loma Blanca, Las Palmas y estación de potabilización El Colorado.**

Se elabora un plano eléctrico para conexión de tableros de control para el control de fugas en las interconexiones Loma Blanca y Las Palmas, de igual manera el plano cuenta con las conexiones para el tablero en la estación El Colorado.

Los planos desarrollados cuentan para cada uno de estos puntos solamente con borneras para conexión de 110 V AC y conexión de Neutro, 10 borneras en cada punto. El plano se lo puede encontrar en la sección de anexos con el nombre de LOMA BLANCA 001, LAS PALMAS 001, EL COLORADO 001.

- **Diagramas eléctricos para conexión de tableros de control en estación de bombeo Río de Oro.**

Se elaboraron tres planos para la conexión del tablero de control de la estación los cuales son detallados a continuación, RIO DE ORO 001, este diagrama cuenta con borneras de conexión para 110 V AC, elementos de maniobra, conexiones a contactos de

relés para la activación de los arrancadores, por último el diagrama cuenta con las conexiones de borneras para Neutro, donde se conectara los neutros de luces pilotos, bobinas de relés, etc.

El diagrama RIO DE ORO 002 muestra las conexiones de los módulos de entradas digitales 1756-IA16 y los dispositivos de maniobra, salidas digitales 1756-OA16 y las luces pilotos así como bobinas de relés. El diagrama RIO DE ORO 003 muestra las conexiones entre el motor trifásico de 600 HP, y el variador de frecuencia Altivar 61 así como el control desde el PLC para el arranque y paro de las bombas, además se muestra las conexiones de 24 V DC y tierra para diferentes dispositivos como el sensor de presión AB 836E o nivel The Probe. La Tabla 53 muestra los elementos que son parte de los diagramas eléctricos para los tableros de control en la estación de bombeo. Todos los diagramas eléctricos se encuentran en la sección de anexos con los nombres ya mencionados.

Tabla 53. Partes y elementos existentes en los diagramas de conexión eléctrica, estación Río de Oro

DIAGRAMA 001	DIAGRAMA 002	DIAGRAMA 003
20 Borneras de conexión a 110 V AC	1 módulo de entradas digitales 1756-IA8D	2 variadores de frecuencia Altivar 61 440 V/600 HP
20 Borneras de conexión a Neutro	1 módulo de salidas digitales 1756-OA16	2 Motores Trifásicos, 600 HP, 440 V
1 Switch selector de dos posiciones normalmente abierto	5 relés y sus bobinas a 110 V AC	10 Borneras para conexión de 24 V DC
5 Switch normalmente abierto	4 Luces piloto verdes	10 Borneras para conexión de tierra o GND
3 Contactos normalmente abiertos de relé	4 Luces piloto rojas	
2 Contactos normalmente cerrados de relé		

4.2.1.2. Diagramas eléctricos para conexión de tableros de control en el acueducto El Ceibal – Azúa.

- **Diagramas eléctricos para conexión de tableros de control en estación de bombeo El Ceibal.**

Se elaboraron tres planos para la conexión del tablero de control de la estación los cuales son detallados a continuación.

EL CEIBAL 001, este diagrama cuenta con borneras de conexión para 110 V AC, elementos de maniobra, conexiones a contactos de relés para la activación de los arrancadores, el diagrama también cuenta con las conexiones de borneras para Neutro, donde se conectara los neutros de luces pilotos, bobinas de relés, etc.

El diagrama EL CEIBAL 002 muestra las conexiones de los módulos de entradas digitales 1756-IA16 y los dispositivos de maniobra, salidas digitales 1756-OA16 y las luces pilotos así como bobinas de relés.

El diagrama EL CEIBAL 003 muestra las conexiones entre el motor trifásico de 940 HP, y el arrancador suave ABB SSM así como el control desde el PLC para el arranque y paro de las bombas, además se muestra las conexiones de 24 V DC y tierra para diferentes dispositivos como el sensor de presión AB 836E o nivel The Probe. La tabla 54 muestra los elementos que son parte de los diagramas eléctricos para los tableros de control en la estación de bombeo. Todos los diagramas eléctricos se encuentran en la sección de anexos con los nombres ya mencionados.

Tabla 54. Partes y elementos existentes en los diagramas de conexión eléctrica, estación El Ceibal.

DIAGRAMA 001	DIAGRAMA 002	DIAGRAMA 003
20 Borneras de conexión a 110 V AC	1 módulo de entradas digitales 1756-IA16	4 arrancadores ABB SSM 6800 V/600 HP
20 Borneras de conexión a Neutro	1 módulo de salidas digitales 1756-OA16	4 Motores Trifásicos, 600 HP, 440 V
1 Switch selector de dos posiciones normalmente abierto	9 relés y sus bobinas a 110 V AC	10 Borneras para conexión de 24 V DC
9 Switch normalmente abierto	5 Luces piloto verdes	10 Borneras para conexión de tierra o GND
5 Contactos normalmente abiertos de relé	2 Luces piloto rojas	
4 Contactos normalmente cerrados de relé		
Motor monofásico, actuador válvula.		

- **Diagramas eléctricos para conexión de tableros de control en tanque Cruz Verde y tanque Intermedio.**

Se elabora un plano eléctrico para conexión de tableros de control como parte de la automatización de la operación del tanque Cruz Verde y tanque Intermedio, el diagrama muestra las conexiones de, módulo de salidas digitales 1756-AO8D, borneras de 110 V AC, Neutro, 24 V DC, GND y actuador para válvula de descarga. La lista de componentes presentes en el diagrama se presentan a continuación, el plano se lo puedo encontrar en la sección de anexos con el nombre de TANQUE CRUZ VERDE 001 y TANQUE INTERMEDIO.

– Módulo de salidas digitales 1756-OA8.

- 2 Luces piloto rojas.
- 1 Luz piloto verde.
- 1 Relé, contacto normalmente abierto.
- 1 Actuador para válvula, motor eléctrico monofásico.
- 10 Borneras de conexión para 110 V AC.
- 10 Borneras de conexión para Neutro.
- 5 Borneras de conexión para 24 V DC.
- 5 Borneras de conexión para GND.

4.2.2. Parametrización de equipos y elementos de control.

Con el objetivo de poder usar diferentes equipos y controladores o diseños para el sistema de control, es necesario establecer parámetros que ayuden a la selección de elementos diferentes a los escogidos pero que cumplan con la misma función y requerimientos.

- **Variadores de frecuencia.**

- i. Capacidad de controlar la velocidad de un motor trifásico de baja tensión 440 V, 600 HP.
- ii. Interfaces para operación del motor como variación de velocidad, arranque y paro del mismo.

- iii. Normas de seguridad y protección tanto para el equipo y motor como para los operadores.

- **Arrancadores Suaves.**

- i. Capacidad de controlar la velocidad de un motor trifásico de media tensión 2300/6800 V, 600/940 HP.
- ii. Interfaces de operación para procesos de arranque y paro del motor.
- iii. Tiempos de aceleración y desaceleración configurables mediante programación.
- iv. Normas de seguridad y protección tanto para el equipo y motor como para los operadores.

- **Controladores.**

- i. Capacidad de manejar señales de entrada y salida del tipo discretas en niveles de voltaje 110 V AC, número de I/O entre 8 y 16.
- ii. Capacidad de manejar lazos de control y automatización de varios procesos, así como comunicación e integración entre demás controladores.
- iii. Normas de protección para el controlador y equipos conectados.

- **Actuador válvula.**

- i. Operación, mediante motor monofásico 110 V AC.
- ii. Posicionamientos de válvula desde cerrado a media vuelta y cuarto de vuelta.

- iii. Reemplaza al mando mediante rueda manual, aplicando torques de hasta 400 Nm.
- iv. Instalación en válvulas de compuerta y tipo globo con diámetros de 600 mm, 800 mm y 500 mm.

4.2.3. Dimensionamiento y selección de conductores, elementos de protección, dispositivos de maniobra y relés.

- **Dimensionamiento de conductores eléctricos.**

- Conductores eléctricos para conexión de luces pilotos, bobinas y contactos de relés e interruptores, se selecciona el conductor eléctrico idóneo según las normas AWG, para la conexión de los siguientes elementos.
 - i. Luz piloto OMRON, M22-FR-T1, tipo LED, con reducción de voltaje 110 V AC/100 mA/60 Hz, redonda plana de 44 mm de diámetro, esta luz será usada como indicador de alarmas y estado de máquinas.

$$V = 110 \text{ V AC}, T_{\text{max servicio}} = 50 \text{ }^{\circ}\text{C}, I_{\text{nominal}} = 100 \text{ mA}$$

Según los datos de operación para la Luz Piloto, el calibre de cable escogido es AWG 22, con una corriente máxima de 3 A. El conductor debe ser de cobre y tipo flexible.

- ii. Interruptores de selección, OMRON, A225, 22 mm diámetro, dos posiciones mantenidas, contactos NO y NC, 110 V AC.

$$V = 110 \text{ V AC}, T_{\text{max servicio}} = 50 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Por los interruptores solo circulará la corriente necesaria para las entradas de los módulos analógicos, por lo tanto la corriente es muy baja y el calibre 24 AWG es

suficiente para la lectura de entradas discretas. El conductor debe ser de cobre y tipo flexible.

- iii. Interruptor de emergencia tipo hongo, A22E-L-T1, 60 mm diámetro, contacto NC, 110 V AC, presión para bloquear giro para reiniciar.

$$V = 110 \text{ V AC}, T_{\text{max servicio}} = 50 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Por los interruptores de paro de emergencia circulará la corriente necesaria para las entradas de los módulos analógicos, por lo tanto la corriente es muy baja y el calibre 24 AWG es suficiente para la lectura de entradas discretas. El conductor debe ser de cobre y tipo flexible.

- iv. Bobina relé, OMRON POWER RELAY MM y G2A, 110 V AC, 60 Hz, 20 mA, 2200Ω .

$$V = 110 \text{ V AC}, T_{\text{max servicio}} = 50 \text{ }^{\circ}\text{C}, I_{\text{nominal}} = 20 \text{ mA}$$

Según los datos de operación para la bobina del relé, el calibre de cable escogido es AWG 22, con una corriente máxima de 3 A. El conductor debe ser de cobre y tipo flexible.

- v. Contacto de relé NO y NC, 110 V AC / 0.3 A, carga resistiva. G2A.

Los contactos de relé serán usados para habilitar las operación de arranque y paro de motor en los variadores de frecuencia y arrancadores suaves, separando así la parte de control de la parte de potencia, por lo tanto la corriente que circulará será baja, sabiendo que $V = 110 \text{ V AC}$, $I = 0.3 \text{ A}$, se selecciona un calibre de cable AWG 18. El conductor debe ser de cobre y tipo flexible.

Contacto de relé NO y NC, 110 V AC / 7.5 A, carga inductiva MM.

Los contactos de este relé son usados para activar el actuador de las válvulas de descarga e impulsión, y sus características de operación son. Los actuadores son de carga inductiva.

$$V = 110 \text{ V AC}, T_{\text{max servicio}} = 70 \text{ }^{\circ}\text{C}, I_{\text{nominal}} = 1.1 \text{ A}$$

Según las características de este actuador con tensión monofásica y la corriente soportada por el contacto del relé en una carga inductiva, el calibre escogido es AWG 16. El conductor debe ser de cobre y tipo flexible.

- Actuador eléctrico para apertura y cierre de válvula de descarga e impulsión.

Las soluciones de la línea CSR Coester se aplican a las válvulas tipo compuerta, globo y otros equipos similares. El movimiento primario de salida de los actuadores es de múltiples vueltas, pudiendo llegar a torques de hasta 50000 Nm. Las válvulas a ser controladas soportan presión de hasta 600 PSI, por lo que con un actuador que posea un torque de salida de 1000 Nm, será suficiente para su operación, el elemento seleccionado es un actuador eléctrico de la marca Coester modelo CSR6+RS100 ON-OFF, el cual posee las siguientes características, 110 V / 60 Hz / Torque máximo 1000 Nm, eje de 54 mm de diámetro, tiempo de operación 28 s, 0.12 KW, corriente de operación 1.1 A, corriente de bloqueo 2.66 A. La Figura 102 muestra el actuador eléctrico seleccionado.



Figura 102. Actuador eléctrico para apertura y cierre de válvulas, Coester CRS 6

Fuente: (COESTER, 2009).

- Conductores eléctricos para motores trifásicos, arrancadores suaves y variadores de frecuencia.
 - i. Motor eléctrico y arrancador suave ABB SSM, 2300 V / 60 Hz / 600 HP / fp 0.95.

Para calcular la corriente de alimentación para el motor trifásico se debe usar la siguiente fórmula, siendo I: corriente de línea, P: potencia en KW, fp: factor de potencia y V: voltaje de alimentación.

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} * fp * V}$$

$$I = \frac{600 * 0.7456 \text{ KW}}{\sqrt{3} * 0.95 * 2300} = 118.208 \text{ A}$$

Al tener una corriente de 118.208 A, considerando un 25 % más de sobre corriente se tendrá que la corriente máxima será $118.208 * 1.25 = 147.76 \text{ A}$, por lo tanto el calibre seleccionado según las tablas AWG y una temperatura máxima de servicio de 90 °C, es AWG 3/0 del grupo A con una sección nominal de 85 mm², o 10.4 mm de diámetro.

- ii. Motor eléctrico y variador de frecuencia Altivar 61, 440 V / 60 Hz / 600 HP / fp 0.95.

Para calcular la corriente de alimentación para el motor trifásico se debe usar la siguiente fórmula, siendo I: corriente de línea, P: potencia en KW, fp: factor de potencia y V: voltaje de alimentación.

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} * fp * V}$$

$$I = \frac{600 * 0.7456 \text{ KW}}{\sqrt{3} * 0.95 * 440} = 617.903 \text{ A}$$

Al tener una corriente de 617.903 A, considerando un 25 % más de sobre corriente se tendrá que la corriente máxima será $617.903 * 1.25 = 772.379$, por lo tanto el calibre seleccionado según las tablas AWG y una temperatura máxima de servicio de 90 °C, es AWG 800 MCM del grupo B con una sección nominal de 405.5 mm², o 22.7 mm de diámetro.

- iii. Motor eléctrico y arrancador suave ABB SSM, 6800 V / 60 Hz / 940 HP / fp 0.95.

Para calcular la corriente de alimentación para el motor trifásico se debe usar la siguiente formula, siendo I: corriente de línea, P: potencia en KW, fp: factor de potencia y V: voltaje de alimentación.

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} * fp * V}$$

$$I = \frac{940 * 0.7456 \text{ KW}}{\sqrt{3} * 0.95 * 6800} = 62.6384 \text{ A}$$

Al tener una corriente de 62.6384 A, considerando un 25 % más de sobre corriente se tendrá que la corriente máxima será $62.6384 * 1.25 = 78.298$ A, por lo tanto el calibre seleccionado según las tablas AWG y una temperatura máxima de servicio de 90 °C, es AWG 4 del grupo A con una sección nominal de 21.15 mm², o 5.2 mm de diámetro.

La selección de calibre AWG se presente en la tabla de la Figura 103.

INTENSIDAD DE CORRIENTE ADMISIBLE PARA CONDUCTORES DE COBRE (Secciones AWG)								
AISLADOS TEMPERATURA DE SERVICIO:		60°	75°	90°				
SECCION	SECCION	GRUPO A			GRUPO B			DESNUDO
		TEMPERATURA DE SERVICIO			TEMPERATURA DE SERVICIO			
Nominal (mm) ²	AWG	60°C	75°C	90°C	60°C	75°C	90°C	
0,32	22	3	3					
0,51	20	5	5					
0,82	18	7,5	7,5					
1,31	16	10	10					
2,08	14	15	15	25	20	20	30	
3,31	12	20	20	30	25	25	40	
5,26	10	30	30	40	40	40	55	
8,36	8	40	45	50	55	65	70	90
13,30	6	55	65	70	80	95	100	130
21,15	4	70	85	90	105	125	135	150
26,67	3	80	100	105	120	145	155	200
33,62	2	95	115	120	140	170	180	230
42,41	1	110	130	140	165	195	210	270
53,49	1/0	125	150	155	185	230	245	310
67,42	2/0	145	175	185	225	265	285	360
85,01	3/0	165	200	210	260	310	330	420
107,2	4/0	195	230	235	300	360	385	490
127	250 MCM	215	255	270	340	405	425	540
152,0	300 MCM	240	285	300	375	445	460	610
177,3	350 MCM	260	310	325	420	505	530	670
202,7	400 MCM	280	355	360	455	545	575	730
253,4	500 MCM	320	380	405	515	620	660	840
304	600 MCM	355	420	455	475	690	740	
354,7	700 MCM	385	460		630	755		
380	750 MCM	400	475	500	655	785	845	
405,4	800 MCM	410	490		680	815		
456	900 MCM	435	520		730	870		
506,7	1000 MCM	455	545	585	780	925	1000	
633,4	1250 MCM	495	590		890	1065		
760,1	1500 MCM	520	625		980	1175		
886,7	1750 MCM	545	650		1070	1280		
1013	2000 MCM	560	665		1155	1385		

Grupo A: hasta 3 conductores en tubo o en cable o directamente enterrados. Grupo B: Conductor simple al aire libre.

Figura 103. Tabla de selección de calibre AWG para conductores eléctricos de cobre.

Fuente: (Harper, 1993)

- **Dimensionamientos de elementos de protección.**
 - **Selección de fusibles para protección de sobre corrientes y cortocircuitos.**

Como se muestra en los planos eléctricos, los fusibles son ubicados en cada tablero de control para cada uno de los puntos a lo largo de la conducción.

- i. Fusibles para tablero de control en estación de bombeo.

Las corrientes que circulan por el tablero de control corresponden a: 1 A en fuente DC, 2 A en actuador. Corriente total en luces piloto + bobinas de relé 1+ alimentación de PLC + alimentación de sensores, se considera un corriente de 2 A. La selección de fusibles serán de 1 A y 600 V para fuente de voltaje DC, 2 A y 600 V para actuador de válvulas y al ingreso del tablero un fusible de 5 A.

– **Selección de interruptores termo magnéticos e interruptores automáticos para el circuito de control de motores.**

Según los cálculos realizados para el dimensionamiento de conductores eléctricos las corrientes y voltajes presentes en el circuito de arranque de motores se tiene que: Estación Caza Lagarto son tres motores de 2300 V / 118 A, estación Río de Oro son dos motores de 440 V / 618 A, estación El Ceibal son cuatro motores de 6800 V / 62 A. Como se mostró en los planos eléctricos desarrollados existe para protección de sobre corrientes y cortocircuitos un interruptor termo magnético y uno tipo automático. Se ha seleccionado según las características de operación los siguientes elementos:

- i. Interruptor termo magnético de baja tensión para protección, Schneider Compact NS800N con accionamiento manual, la Tabla 55 muestra las principales características de este elemento. La figura 104 muestra las conexiones y montaje de este interruptor.

Tabla 55. Características de interruptor COMPACT NS 800 A

Interruptores de Baja Tensión Norma IEC, Interruptor de Protección, regulables, COMPACT NS 800 A	
Referencia	NS800N - Micrologic 2.0
Corriente Nominal	800
Regulación Térmica, $I_r = 0.4 - 1 I_n$	320 - 800
Regulación Magnética, $I_{sd} (x I_r)$	1.5 - 10
Tensión asignada de empleo	690 V AC

Fuente: (Schneider, Interruptores Electricos, 2012)



Figura 104. Schneider Compact NS800N, conexión y montaje en la estación Río de Oro

- a) Interruptor automático Merlin Gerin Masterpact Schneider NW800A, Intensidad Asignada 2500 A, Tensión de Choque 12 kV, Tensión de trabajo 440/480 V, Tensión asignada al aislamiento 1000 V. La Figura 105 muestra el montaje y conexiones de este interruptor.



Figura 105. Interruptor automático, Masterpact Schneider

4.2.4. Parámetros de configuración para arrancadores suaves y variador de frecuencia.

- Variador de frecuencia Schneider Altivar 61, 600 HP, 440 V.

La Tabla 56 muestra las características de configuración para el variador de frecuencia que se encuentra en la estación de bombeo Río de Oro usado en el control de los dos motores presentes en el bombeo.

Tabla 56. Características y parámetros de configuración, variador de frecuencia Schneider Altivar 61

Schneider Altivar 61, parámetros de configuración.	
Configuración Macro	Bombas / Ventiladores
Frecuencia del motor	60 Hz
Modo de paro en falla	Rueda Libre
Tiempo de aceleración lineal	20 segundos
Tiempo de desaceleración lineal	10 segundos
Menor velocidad	0 Hz
Mayor velocidad	60 Hz
Corriente térmica del motor	Corriente nominal
Reinicios automáticos luego de falla	Apagado
Frecuencia de conmutación	2.5 KHz
Entradas Lógicas	LI1: Inicio, giro horario LI2: Paro, desaceleración LI3: Paro de emergencia LI4: Reset de fallas LI5, LI6: Inactivas no asignadas
Entradas Analógicas	AI1: Primera referencia de velocidad 0 – 10 V AI2: Segunda referencia de velocidad 4 a 20 mA
Salida a relés	R1: Contacto NC se abre al existir fallo
Salida analógica	AO1: 4 a 20 mA, inactiva, no asignada

Fuente: (Schneider, Altivar 61 Programming Manual, 2009)

- Arrancadores Suaves ABB SSM, 600 HP / 2300 V, 1000 HP / 6800 V.

Tabla 57. ABB SSM, arrancador suave, parámetros de configuración

ABB SSM, arrancador suave, parámetros de configuración.	
Inicio de modo de control	Iniciar rampa 1
Voltaje de JOG	Apagado
Inicio de rampa #1 Tipo	Voltaje
Voltaje inicial	10 %
Tiempo de rampa #1	20 segundos
Límite de corriente #1	350 % de FLA
Corriente inicial #1	50 % de FLA
Inicio de rampa #2 Tipo	Apagado
Inicio rápido	Apagado
Desaceleración	Habilitado
Voltaje inicial de desaceleración	80 %
Voltaje de paro en desaceleración	0 %
Tiempo de desaceleración.	10 segundos
Tiempo de salida programado	Apagado

Fuente: (ABB, 2003).

4.2.5. Diseño del software y lógica de control del sistema de control.

4.2.5.1. Diseño de lógica de control y software para la operación de cada una de las unidades de bombeo, válvulas, tanques de almacenamiento y distribución.

- **Diseño del software de control para la estación de bombeo Caza Lagarto.**

El controlador seleccionado para la automatización de la estación es un PLC de la marca Allen Bradley modelo 1756-L61 ControlLogix 5561 Controller, este CPU será instalado en un chasis para cinco módulos, los cuales serán ocupados por:

- i. Slot 0, CPU 1756-L61, 5561 Controller.
- ii. Slot 1, Ethernet IP, 1756-ENBT 10/100 Mbps Ethernet Bridge, cable de par torcido.
- iii. Slot 2, entradas discretas 16 canales, 1756-IA16.
- iv. Slot 3, salidas discretas 16 canales, 1756-OA16.
- v. Slot 4, entradas analógicas 6 canales voltaje corriente, 1756-IF6I.

La programación del controlador de la estación de bombeo Caza Lagarto supervisará y controlará los procesos de impulsión de agua y monitoreo de señales, para lo cual se establecen las siguientes variables tanto para entradas como para salidas discretas involucradas en el control de la estación mostradas en la Tabla 58 y Tabla 59 respectivamente.

Tabla 58. Descripción de entradas y Tag para el controlador de la estación Caza Lagarto

Entradas digitales del controlador de la estación Caza Lagarto		
Entradas	Tag	Descripción
I2.00	CL_MANUAL	Selector 1, activación modo manual
I2.01	CL_AUTOMATICO	Selector 1, activación modo automático
I2.02	CL_START_B1	Selector 2, arranque bomba 1
I2.03	CL_STOP_B1	Selector 2, paro bomba 1
I2.04	CL_START_B2	Selector 3, arranque bomba 2
I2.05	CL_STOP_B2	Selector 3, paro bomba 2
I2.06	CL_START_B3	Selector 4, arranque bomba 3
I2.07	CL_STOP_B3	Selector 4, paro bomba 3
I2.08	CL_NIVEL	Switch de nivel, h = 0.6 m
I2.09	CL_EMERGENCIA	Interruptor de paro de emergencia

Tabla 59. Descripción de salidas y Tag para el controlador de la estación Caza Lagarto

Salidas digitales del controlador de la estación Caza Lagarto		
Entradas	Tag	Descripción
O3.00	CL_OUT_STAB1	Activación bobina de relé arranque bomba 1
O3.01	CL_OUT_STAB2	Activación bobina de relé arranque bomba 2
O3.02	CL_OUT_STAB3	Activación bobina de relé arranque bomba 3
O3.03	CL_OUT_STOB1	Activación bobina de relé paro bomba 1
O3.04	CL_OUT_STOB2	Activación bobina de relé paro bomba 2
O3.05	CL_OUT_STOB3	Activación bobina de relé paro bomba 3
O3.06	CL_LUZ_B1	Activación luz piloto, bomba 1
O3.07	CL_LUZ_B2	Activación luz piloto, bomba 2
O3.08	CL_LUZ_B3	Activación luz piloto, bomba 3
O3.09	CL_ALA_B1	Activación luz piloto alarma, bomba 1
O3.10	CL_ALA_B2	Activación luz piloto alarma, bomba 2
O3.11	CL_ALA_B3	Activación luz piloto alarma, bomba 3
O3.12	CL_AUTO_OUT	Activación luz piloto modo automático
O3.13	CL_MANU_OUT	Activación luz piloto modo manual

– **Programación del controlador para la estación Caza Lagarto.**

El software desarrollado para el PLC encargado de la automatización de los procesos en la estación está basado en subrutinas y dos lenguajes de programación diferentes, las cuales estarán encargadas de la adquisición de datos, operación de la estación y control de fugas, sus nombres son, CL_ADIQUISICION desarrollada en Texto Estructurado, CL_OPERACION SFC o Grafset y CL_CONTROL_FUGAS en Texto Estructurado respectivamente. Las subrutinas son activadas de manera paralela desde la rutina principal, asegurando la automatización de cada proceso en la planta, la programación de este controlador es presentada en la sección de anexos con el nombre de PROGRAMAS CAZA LAGARTO.

- **Diseño del software de control para la operación del tanque del cerro Mocochoal.**

El controlador seleccionado para la automatización de la operación del tanque es un PLC de la marca Allen Bradley modelo 1756-L61 ControlLogix 5561 Controller, este CPU será instalado en un chasis para cuatro módulos, los cuales serán ocupados por:

- i. Slot 0, CPU 1756-L61, 5561 Controller.
- ii. Slot 1, Ethernet IP, 1756-ENBT 10/100 Mbps Ethernet Bridge, cable de par torcido.
- iii. Slot 2, salidas discretas 8 canales, 1756-OA8.
- iv. Slot 3, entradas analógicas 6 canales voltaje corriente, 1756-IF6I.

La programación del controlador del tanque Mocochoal supervisará y controlará los procesos de impulsión de agua y monitoreo de señales, para lo cual se establecen las siguientes variables para entradas involucradas en el control de la estación mostradas en la Tabla 60.

Tabla 60. Descripción de salidas y Tag para el controlador del tanque Mocochoal

Salidas digitales del controlador del tanque Mocochoal		
Entradas	Tag	Descripción
O2.00	MC_LAL	Luz piloto, alarma de nivel bajo, 0.6 m
O2.01	MC_LAH	Luz piloto, alarma de nivel alto, 4.6 m
O2.02	MC_NORMAL	Luz piloto estado normal de operación
O2.03	MC_ACTUADOR	Activación de bobina de relé, actuador válvula de descarga

– Programación del controlador para el tanque Mocochoal.

El software desarrollado para el PLC encargado de la automatización de los procesos en el tanque está basado en subrutinas, las cuales estarán encargadas de la adquisición de datos y operación así como del control de fugas, sus nombres son, MC_OPERACION desarrollada en Texto Estructurado y MC_CONTROL_FUGAS desarrollada en Texto Estructurado respectivamente. Las subrutinas son activadas de manera paralela desde la rutina principal, asegurando la automatización de cada proceso en la planta, la

programación de este controlador es presentada en la sección de anexos con el nombre de PROGRAMAS MOCOCHAL.

- **Diseño del software de control para la estación de bombeo Río de Oro.**


El controlador seleccionado para la automatización de la estación es un PLC de la marca Allen Bradley modelo 1756-L61 ControlLogix 5561 Controller, este CPU será instalado en un chasis para cinco módulos, los cuales serán ocupados por:

- Slot 0, CPU 1756-L61, 5561 Controller.
- Slot 1, Ethernet IP, 1756-ENBT 10/100 Mbps Ethernet Bridge, cable de par torcido.
- Slot 2, entradas discretas 8 canales, 1756-IA8D.
- Slot 3, salidas discretas 16 canales, 1756-OA16.
- Slot 4, entradas analógicas 6 canales voltaje corriente, 1756-IF6I.

La programación del controlador de la estación de bombeo Río de Oro supervisará y controlará los procesos de impulsión de agua, llenado del tanque de planta y monitoreo de señales, para lo cual se establecen las siguientes variables tanto para entradas como para salidas discretas involucradas en el control de la estación mostradas en la Tabla 61 y Tabla 62 respectivamente.

Tabla 61. Descripción de entradas y Tag para el controlador de la estación Río de Oro

Entradas digitales del controlador de la estación Río de Oro		
Entradas	Tag	Descripción
I2.00	RO_START	Selector 1, arranque de proceso
I2.01	RO_START_B1	Selector 2, arranque bomba 1
I2.02	RO_STOP_B1	Selector 2, paro bomba 1
I2.03	RO_START_B2	Selector 3, arranque bomba 2
I2.04	RO_STOP_B2	Selector 3, paro bomba 2

Continua 

I2.05	RO_ACTUADOR	Interruptor activación actuador válvula salida
I2.06	RO_EMERGENCIA	Interruptor paro de emergencia

Tabla 62. Descripción de salidas y Tag para el controlador de la estación Río de Oro

Salidas digitales del controlador de la estación Río de Oro		
Entradas	Tag	Descripción
O3.00	RO_OUT_STAB1	Activación bobina de relé arranque bomba 1
O3.01	RO_OUT_STAB2	Activación bobina de relé arranque bomba 2
O3.02	RO_OUT_STOB1	Activación bobina de relé paro bomba 1
O3.03	RO_OUT_STOB2	Activación bobina de relé paro bomba 2
O3.04	RO_LUZ_B1	Activación luz piloto, bomba 1
O3.05	RO_LUZ_B2	Activación luz piloto, bomba 2
O3.06	RO_ALA_B1	Activación luz piloto alarma, bomba 1
O3.07	RO_ALA_B2	Activación luz piloto alarma, bomba 2
O3.08	RO_LAL	Luz piloto, alarma de nivel bajo, 0.6 m
O3.09	RO_LAH	Luz piloto, alarma de nivel alto, 4.6 m
O3.10	RO_OUT_ACTUADOR	Activación de bobina de relé, actuador válvula de descarga
O3.11	RO_OUT_START	Activación luz piloto

– Programación del controlador para la estación Río de Oro.

El software desarrollado para el PLC encargado de la automatización de los procesos en la estación está basado en subrutinas y dos lenguajes de programación diferentes, las cuales estarán encargadas de la adquisición de datos, operación de la estación y control de fugas, sus nombres son, RO_ADQUISICION desarrollada en Texto Estructurado, RO_OPERACION SFC o Grafcet y RO_CONTROL_FUGAS en Texto Estructurado respectivamente. Las subrutinas son activadas de manera paralela desde la rutina principal, asegurando la automatización de cada proceso en la planta, la programación de este controlador es presentada en la sección de anexos con el nombre de PROGRAMAS CAZA LAGARTO.

- **Diseño del software de control para estación de bombeo El Ceibal.**


El controlador seleccionado para la automatización de la estación es un PLC de la marca Allen Bradley modelo 1756-L61 ControlLogix 5561 Controller, este CPU será instalado en un chasis para cinco módulos, los cuales serán ocupados por:

- Slot 0, CPU 1756-L61, 5561 Controller.
- Slot 1, Ethernet IP, 1756-ENBT 10/100 Mbps Ethernet Bridge, cable de par torcido.
- Slot 2, entradas discretas 16 canales, 1756-IA16.
- Slot 3, salidas discretas 16 canales, 1756-OA16.
- Slot 4, entradas analógicas 8 canales voltaje corriente, 1756-IF8.

La programación del controlador de la estación de bombeo El Ceibal supervisará y controlará los procesos de impulsión de agua y monitoreo de señales, para lo cual se establecen las siguientes variables tanto para entradas como para salidas discretas involucradas en el control de la estación mostradas en la Tabla 63 y Tabla 64 respectivamente.

Tabla 63. Descripción de entradas y Tag para el controlador de la estación El Ceibal

Entradas digitales del controlador de la estación El Ceibal		
Entradas	Tag	Descripción
I2.00	ECE_MANUAL	Selector 1, activación modo manual
I2.01	ECE_AUTOMATICO	Selector 1, activación modo automático
I2.02	ECE_START_B1	Selector 2, arranque bomba 1
I2.03	ECE_STOP_B1	Selector 2, paro bomba 1
I2.04	ECE_START_B2	Selector 3, arranque bomba 2
I2.05	ECE_STOP_B2	Selector 3, paro bomba 2
I2.06	ECE_START_B3	Selector 4, arranque bomba 3
I2.07	ECE_STOP_B3	Selector 4, paro bomba 3
I2.08	ECE_START_B4	Selector 5, arranque bomba 4

Continua 

I2.09	ECE_STOP_B4	Selector 5, paro bomba 4
I2.10	ECE_EMERGENCIA	Interruptor paro de emergencia
I2.11	ECE_ACTUADOR	Interruptor activación actuador válvula de salida

Tabla 64. Descripción de salidas y Tag para el controlador de la estación El Ceibal

Salidas digitales del controlador de la estación El Ceibal		
Entradas	Tag	Descripción
O3.00	ECE_OUT_STAB1	Activación bobina de relé arranque bomba 1
O3.01	ECE_OUT_STAB2	Activación bobina de relé arranque bomba 2
O3.02	ECE_OUT_STAB3	Activación bobina de relé arranque bomba 3
O3.03	ECE_OUT_STAB4	Activación bobina de relé arranque bomba 4
O3.04	ECE_OUT_STOB1	Activación bobina de relé paro bomba 1
O3.05	ECE_OUT_STOB2	Activación bobina de relé paro bomba 3
O3.06	ECE_OUT_STOB3	Activación bobina de relé paro bomba 2
O3.07	ECE_OUT_STOB4	Activación bobina de relé paro bomba 4
O3.08	ECE_LUZ_B1	Activación luz piloto, bomba 1
O3.09	ECE_LUZ_B2	Activación luz piloto, bomba 2
O3.10	ECE_LUZ_B3	Activación luz piloto, bomba 3
O3.11	ECE_LUZ_B4	Activación luz piloto, bomba 4
O3.12	ECE_LAL	Activación luz piloto alarma de nivel bajo 0.6 m
O3.13	ECE_LAH	Activación luz piloto alarma de nivel alto 4.6 m
O3.14	ECE_AUTOMAN	Activación luz piloto modo automático/manual
O3.15	ECE_OUT_ACTUADOR	Activación de bobina de relé, actuador válvula de descarga

– **Programación del controlador para la estación El Ceibal.**

El software desarrollado para el PLC encargado de la automatización de los procesos en la estación está basado en subrutinas y dos lenguajes de programación diferentes, las cuales estarán encargadas de la adquisición de datos, operación de la estación y control de fugas, sus nombres son, ECE_ADQUISICION desarrollada en Texto Estructurado, ECE_OPERACION SFC o Grafcet y ECE_CONTROL_FUGAS en Texto Estructurado

respectivamente. Las subrutinas son activadas de manera paralela desde la rutina principal, asegurando la automatización de cada proceso en la planta, la programación de este controlador es presentada en la sección de anexos con el nombre de PROGRAMAS CAZA LAGARTO.

- **Diseño del software de control para la operación del tanque Cruz Verde.**

El controlador seleccionado para la automatización de la operación del tanque es un PLC de la marca Allen Bradley modelo 1756-L61 ControlLogix 5561 Controller, este CPU será instalado en un chasis para cuatro módulos, los cuales serán ocupados por:

- Slot 0, CPU 1756-L61, 5561 Controller.
- Slot 1, Ethernet IP, 1756-ENBT 10/100 Mbps Ethernet Bridge, cable de par torcido.
- Slot 2, salidas discretas 8 canales, 1756-OA8.
- Slot 3, entradas analógicas 6 canales voltaje corriente, 1756-IF6I.

La programación del controlador del tanque Cruz Verde supervisará y controlará los procesos de impulsión de agua y monitoreo de señales, para lo cual se establecen las siguientes variables para entradas involucradas en el control de la estación mostradas en la Tabla 65.

Tabla 65. Descripción de salidas y Tag para el controlador del tanque Cruz Verde

Salidas digitales del controlador del tanque Cruz Verde		
Entradas	Tag	Descripción
O2.00	CV_LAL	Luz piloto, alarma de nivel bajo, 0.6 m
O2.01	CV_LAH	Luz piloto, alarma de nivel alto, 4.6 m
O2.02	CV_NORMAL	Luz piloto estado normal de operación
O2.03	CV_ACTUADOR	Activación de bobina de relé, actuador válvula de descarga

– **Programación del controlador para el tanque Cruz Verde.**

El software desarrollado para el PLC encargado de la automatización de los procesos en el tanque está basado en subrutinas, las cuales estarán encargadas de la adquisición de datos y operación así como del control de fugas, sus nombres son, CV_OPERACION desarrollada en Texto Estructurado y CV_CONTROL_FUGAS desarrollada en Texto Estructurado respectivamente. Las subrutinas son activadas de manera paralela desde la rutina principal, asegurando la automatización de cada proceso en la planta, la programación de este controlador es presentada en la sección de anexos con el nombre de PROGRAMAS CRUZ VERDE.

• **Diseño del software de control para la operación del tanque Intermedio.**

El controlador seleccionado para la automatización de la operación del tanque es un PLC de la marca Allen Bradley modelo 1756-L61 ControlLogix 5561 Controller, este CPU será instalado en un chasis para cuatro módulos, los cuales serán ocupados por:

- i. Slot 0, CPU 1756-L61, 5561 Controller.
- ii. Slot 1, Ethernet IP, 1756-ENBT 10/100 Mbps Ethernet Bridge, cable de par torcido.
- iii. Slot 2, salidas discretas 8 canales, 1756-OA8.
- iv. Slot 3, entradas analógicas 6 canales voltaje corriente, 1756-IF6I.

La programación del controlador del tanque Intermedio supervisará y controlará los procesos de impulsión de agua y monitoreo de señales, para lo cual se establecen las siguientes variables para entradas involucradas en el control de la estación mostradas en la Tabla 66.

Tabla 66. Descripción de salidas y Tag para el controlador del tanque Intermedio

Salidas digitales del controlador del tanque Intermedio		
Entradas	Tag	Descripción
O2.00	INT_LAL	Luz piloto, alarma de nivel bajo, 0.6 m
O2.01	INT_LAH	Luz piloto, alarma de nivel alto, 4.6 m
O2.02	INT_NORMAL	Luz piloto estado normal de operación
O2.03	INT_ACTUADOR	Activación de bobina de relé, actuador válvula de descarga

– **Programación del controlador para el tanque Intermedio.**

El software desarrollado para el PLC encargado de la automatización de los procesos en el tanque está basado en subrutinas, las cuales estarán encargadas de la adquisición de datos y operación así como del control de fugas, sus nombres son, INT_OPERACION desarrollada en Texto Estructurado e INT_CONTROL_FUGAS desarrollada en Texto Estructurado respectivamente. Las subrutinas son activadas de manera paralela desde la rutina principal, asegurando la automatización de cada proceso en la planta, la programación de este controlador es presentada en la sección de anexos con el nombre de PROGRAMAS INTERMDIO.

- **Matriz Causa – Efecto para la lógica de control de la operación de estaciones de bombeo.**

Para una mejor explicación de la lógica de control desarrollada es importante desarrollar una matriz causa – efecto en la cual se identificas los aspectos que cubrirá el sistema de automatización siendo los efecto que producirá el uso de esta lógica, de igual manera se establecen cada una de las acciones o causas para que se pueda cumplir con los aspectos establecidos.

A continuación se plantea una lista de los aspectos que se conseguirá mediante el uso de la lógica de control desarrollada.

- **Confiabledad:** El sistema de control permite que los procesos presentes en las estaciones de bombeo como impulsión y almacenamiento de agua se

cumplan de una manera efectiva asegurando que los elementos trabajen si fallas críticas para este sistema, por lo tanto se logra que las estaciones de bombeo puedan cumplir con su función sin necesidad de interrupciones o paros por averías en algún elemento.

- **Operatividad:** Este aspecto está relacionado con la capacidad y posibilidades para que el sistema sea manipulado por los operadores de cada estación de bombeo, ya sea para arrancar o parar las unidades de bombeo o como una inspección de los procesos y valores manejados por el proceso.

- **Detección de fallos e indicadores de alarmas:** Mediante el uso de diversos sensores y transductores se debe conseguir que el sistema de control detecte niveles críticos para cada magnitud física medida y según estos valores se pueda precautelar la seguridad y vida de los elementos involucrados, además existe la facilidad de poder divisar cada una de las alarmas mediante indicadores lumínicos o alarmas.

- **Seguridad:** Cada elemento seleccionado que opera mediante el sistema de control posee su propia protección contra elementos ajenos o externos a los procesos de la estación de bombeo como son fallos eléctricos, ubicaciones peligrosas o elementos dañinos para la operación.

- **Monitoreo y Supervisión:** Se involucra la adquisición de datos y señales presentes en el proceso para ser presentados de manera gráfica la cual puede ser interpretada por los operadores del sistema, mediante la adquisición de estos datos se puede hacer un análisis estadístico de cada variable o proceso presente en el sistema.

- **Escalabilidad:** El desarrollo de este sistema de automatización está orientado a permitir una futura expansión o mejoras en el mismo, asegurando que los

procesos mantengan la funcionalidad de los aspectos anteriores en caso de que se presenten diversas complicaciones o simplemente se requiera una mejora.

Mientras que las acciones presentes para este sistema se rigen a las siguientes variables.

- Contar con sensores de temperatura para cada motor eléctrico acoplado a las bombas. Mediante la lectura de esta magnitud se asegura que no se supere la temperatura y los motores trabajen dentro de un rango confiable para su operación.
- Los medidores de nivel son necesarios para mantener el nivel del agua dentro de los límites establecidos tanto para superior como inferior, de igual forma el arranque de las bombas depende de que el nivel sea superior al mínimo requerido caso contrario no pueden operar.
- Sensores de caudal y presión son necesarios para el monitoreo y supervisión del proceso de bombeo, por lo tanto es importante para la operatividad de este sistema y su seguridad también.
- Uso de elementos de maniobra para selección de modos de operación (automático/manual) o accionamiento y paro de los grupos de bombeo mediante pulsadores, así como interruptores de emergencia que permiten corregir fallas o alertas en el sistema. Es decir estos elementos son los que rigen al sistema emitiendo acciones requeridas por el operador.
- El controlador deberá registrar o almacenar los valores medidos por los sensores teniendo la posibilidad de ser mostradas en interfaces gráficas, para poder realizar un análisis estadístico.

4.2.5.2. Diseño de lógica de control y software para el control del bombeo de agua en caso de fugas.

- **Diseño de software para el control de fugas en el acueducto Caza Lagarto - El Colorado.**

Para el control de fugas en este acueducto existen seis puntos de medición, Caza Lagarto, Mocochal, Loma Blanca, Río de Oro, Las Palmas, El Colorado, los datos de medida de caudal son transmitidos hacia el controlador central ubicado en Caza Lagarto y este será el encargado de determinar si existe fugas y parar el bombeo así como cerrar las diferentes válvulas presentes a lo largo de la conducción. Los puntos de medida y control son:

- i. Mocochal – Loma Blanca, evaluando, que si $CAU_{LB} \leq CAU_{MC} * 0.9$, durante tres minutos, además que el caudal en los puntos sea diferentes de cero o tubería no vacía, se considera fuga en este tramo, para este caso se para las bombas en Caza Lagarto y se cierra la válvula de descarga de Mocochal.
- ii. Loma Blanca – Río de Oro, evaluando, que si $CAU_{RO} \leq CAU_{LB} * 0.9$, durante tres minutos, además que el caudal en los puntos sea diferentes de cero o tubería no vacía, se considera fuga en este tramo, para este caso se para las bombas en Caza Lagarto y se cierra la válvula de descarga de Mocochal.
- iii. Río de Oro – Las Palmas, evaluando, que si $CAU_{LP} \leq CAU_{RO} * 0.9$, durante tres minutos, además que el caudal en los puntos sea diferentes de cero o tubería no vacía, se considera fuga en este tramo, para este caso se para las bombas en Caza Lagarto y las bombas en Río de Oro y a su vez se cierra la válvula de descarga de Mocochal.
- iv. Las Palmas – El Colorado, evaluando, que si $CAU_{COL} \leq CAU_{LP} * 0.9$, durante tres minutos, además que el caudal en los puntos sea diferentes de cero o tubería no vacía, se considera fuga en este tramo, para este caso se para las

bombas en Caza Lagarto y las bombas en Rio de Oro y a su vez se cierra la válvula de descarga de Mocochal.

Como se indicó anteriormente, los programas de control de cada PLC cuentan con una subrutina de detección y control de fugas, su programación será presentada en la sección de anexos, programas PLC con el nombre de CONTROL DE FUGAS CAZA LAGARTO – EL COLORADO.

- **Diseño de software para el control de fugas en el acueducto El Ceibal – Azúa.**

Para el control de fugas en este acueducto existen cuatro puntos de medición, El Ceibal, Cruz Verde, Intermedio y Azúa, los datos de medida de caudal son transmitidos hacia el controlador central ubicado en El Ceibal y este será el encargado de determinar si existe fugas y parar el bombeo así como cerrar las diferentes válvulas presentes a lo largo de la conducción. Los puntos de medida y control son:

- i. Cruz Verde – Intermedio, evaluando, que si $CAU_INT \leq CAU_CV * 0.9$, durante tres minutos, además que el caudal en los puntos sea diferentes de cero o tubería no vacía, se considera fuga en este tramo, para este caso se para las bombas en El Ceibal y se cierra la válvula de descarga de Cruz Verde.
- ii. Intermedio Azúa, evaluando, que si $CAU_AZ \leq CAU_INT * 0.9$, durante tres minutos, además que el caudal en los puntos sea diferentes de cero o tubería no vacía, se considera fuga en este tramo, para este caso se para las bombas en El Ceibal y se cierra la válvula de descarga de Cruz Verde y válvula de Intermedio.

Como se indicó anteriormente, los programas de control de cada PLC cuentan con una subrutina de detección y control de fugas, su programación será presentada en la sección de anexos, programas PLC con el nombre de CONTROL DE FUGAS EL CEBIAL – AZÚA.

4.2.5.3. Diseño de la lógica de control y software para la operación integrada en la conducción de cada uno de los acueductos y operación remota del sistema.

La operación integrada de todos los procesos tanto para monitoreo de tanques y estaciones de bombeo como el control de fugas a lo largo de la línea de conducción consiste en la comunicación e intercambio de información entre los controladores de cada proceso, asegurando los parámetros de operación de todos los puntos.

Además de la operación integrada, debe ser posible el control y monitoreo remoto desde una estación central ubicada al inicio de la línea de conducción hacia los demás puntos como son estaciones de bombeo o tanques de distribución, para poder cumplir con las dos premisas se debe establecer lo siguiente.

- **Intercambio de información y variables involucradas en el control de fugas para el acueducto Caza Lagarto – El Colorado.**

La Figura 106 muestra el intercambio de información entre las estaciones establecidas para la automatización de la línea de conducción Caza Lagarto – El Colorado, siendo la estación de bombeo Caza Lagarto establecida como la estación central y encargada de las acciones de control en caso de fugas, mientras que las estaciones secundarias o esclavas son: Mocochal, Loma Blanca, Río de Oro, Las Palmas y El Colorado.

Cada estación secundaria envía los datos de caudal medidos por los sensores existentes hacia la estación central y son evaluados para establecer posibles fugas con la lógica mostrada en el apartado anterior.

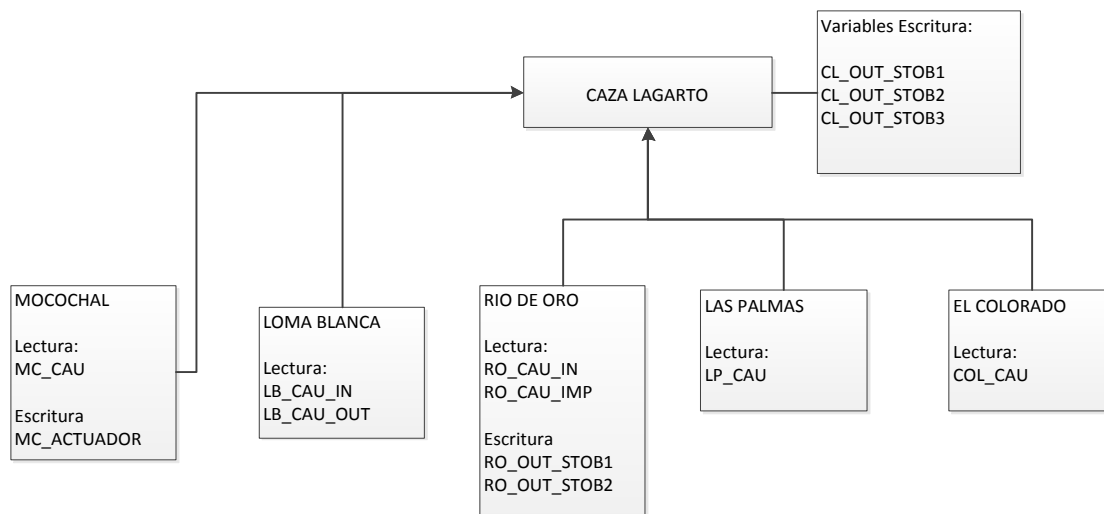


Figura 106. Intercambio de variables para el control de fugas, Caza Lagarto – El Colorado

- **Intercambio de información y variables involucradas en el control de fugas para el acueducto El Ceibal – Azúa.**

La Figura 107 muestra el intercambio de información entre las estaciones establecidas para la automatización de la línea de conducción El Ceibal – Azúa, siendo la estación de bombeo El Ceibal establecida como la estación central y encargada de las acciones de control en caso de fugas, mientras que las estaciones secundarias o esclavas son: Cruz Verde, Intermedio y Azúa.

Cada estación secundaria envía los datos de caudal medidos por los sensores existentes hacia la estación central y son evaluados para establecer posibles fugas con la lógica mostrada en el apartado anterior.

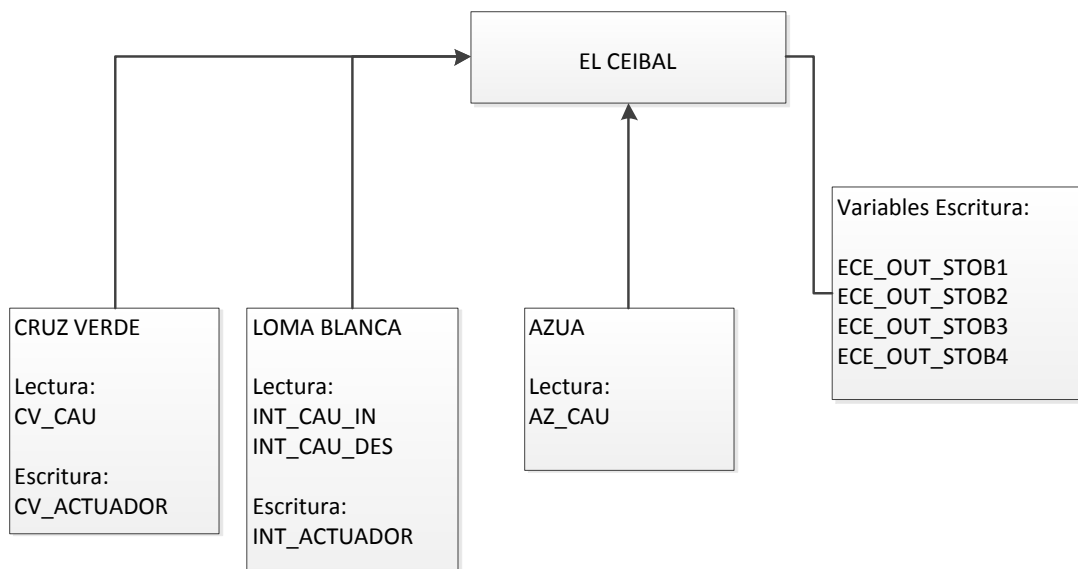


Figura 107. Intercambio de variables para el control de fugas, El Ceibal – Azúa

- **Intercambio de información y variables involucradas en el monitoreo y operación remota para el acueducto Caza Lagarto – El Colorado.**

A continuación se detalla las variables asociadas para la operación y monitoreo remoto desde la estación central hacia las demás estaciones secundarias y viceversa. La Tabla 68 muestra las variables o tags necesarios para la operación y monitoreo remoto tanto para el controlador de Caza Lagarto como Río de Oro.

Mientras que la Tabla 69 presenta la asociación de variables y tags entre los controladores de Caza Lagarto y Mocochoal, por último la tabla 70 presenta las variables asociadas entre el controlador de Caza Lagarto y los controladores de Loma Blanca, Las Palmas y El Colorado.

Tabla 68. Asociación de tags y variables para los controladores Caza Lagarto y Río de Oro

Asociación de tags y variables entre Caza Lagarto y Río de Oro	
Origen (escritura)	Destino (lectura)
CL_OPR_ROSTAB1	RO_OUT_STAB1
CL_OPR_ROSTAB2	RO_OUT_STAB2
CL_OPR_ROSTOB1	RO_OUT_STOB1
CL_OPR_ROSTOB2	RO_OUT_STOB2
CL_OPR_ROOUTACT	RO_OUT_ACTUADOR
RO_CAU_IN	CL_OPR_ROCAUIN
RO_CAU_IMP	CL_OPR_ROCAUIMP
RO_PRE_IMP	CL_OPR_ROPRE
RO_NIV	CL_OPR_RONIV
RO_TEMP_P01	CL_OPR_ROT01
RO_TEMP_PO2	CL_OPR_ROT02

Tabla 69. Asociación de tags y variables para los controladores de Caza Lagarto y Mocochoal

Asociación de tags y variables entre Caza Lagarto y Mocochoal	
Origen (escritura)	Destino (lectura)
CL_OPR_MCACT	MC_ACTUADOR
MC_CAU	CL_OPR_MCCAUI
MC_NIV	CL_OPR_MCNIV

Tabla 70. Asociación de tags y variables para los controladores de Caza Lagarto, Loma Blanca, Las Palmas y Colorado

Asociación de tags y variables entre Caza Lagarto, Loma Blanca, Las Palmas y Colorado	
Origen (escritura)	Destino (lectura)
LB_CAU_OUT	CL_OPR_LB_CAUOUT
LP_CAU	CL_OPR_LP_CAU
COL_CAU	CL_OPR_COL_CAU
LB_CAU_IN	CL_OPR_LB_CAUIN

- **Intercambio de información y variables involucradas en el monitoreo y operación remota para el acueducto El Ceibal – Azúa.**

A continuación se detalla las variables asociadas para la operación y monitoreo remoto desde la estación central hacia las demás estaciones secundarias y viceversa. La

Tabla 71 muestra las variables o tags necesarios para la operación y monitoreo remoto tanto para el controlador de El Ceibal como Cruz Verde, Intermedio y Azúa.

Tabla 71. Asociación de tags y variables para los controladores de El Ceibal, Cruz Verde, Intermedio y Azúa

Asociación de tags y variables entre El Ceibal, Cruz Verde, Intermedio y Azúa	
Origen (escritura)	Destino (lectura)
CV_CAU	ECE_OPR_CVCAU
CV_NIV	ECE_OPR_CVNIV
INT_NIV	ECE_OPR_INTNIV
INT_CAU_IN	ECE_OPR_INT_CAUIN
INT_CAU_DES	ECE_OPR_INT_CAUDES
AZ_CAU	ECE_OPR_AZCAU

4.3. Ingeniería de Detalle para el sistema de Supervisión y Monitoreo.

4.3.1. Requerimiento de interfaz HMI.

El diseño de pantallas de interfaz para supervisión y monitoreo del sistema de conducción de aguas debe ser basado en las propuestas y consideraciones de la Guía Ergonómica de Diseño de Interfaces de Supervisión, GEDIS cumpliendo con los siguientes requerimientos.

- Arquitectura y navegación: dentro de este paso se debe definir cuáles son las pantallas que se van a desarrollar como son las de proceso para estaciones de bombeo y tanques, pantallas de comando para arranque y paro de bombas, pantallas de tendencias para mostrar el valor de variables como caudal, temperatura, presión o nivel y por último pantalla de alarmas para mostrar el estado de diferentes elementos y variables. Por último debe existir un flujo de navegación entre pantallas que facilite la interoperación del sistema asegurando que se pueda pasar por todas las pantallas con la menor cantidad de pasos.

- Distribución y plantillas para pantallas: para el segundo paso es importante definir la ubicación de cada elemento que se desea ubicar en las pantallas para esto es conveniente definir plantillas donde se identifique la posición de títulos, horas, fecha, logotipo de la empresa, ubicación de alarmas, menú del sistema o tendencias usadas, para esto se debe considerar lo siguiente.
 - i. Considerar que la información más importante debe ir arriba.
 - ii. El centro de la pantalla es un lugar de alta visibilidad.
 - iii. La información miscelánea debe ir abajo a la izquierda.
 - iv. Sobre todo las funciones e información críticas deben tener un lugar fijo en la pantalla.
 - v. La mejor posición para los gráficos es a la izquierda del campo visual.
 - vi. Al desarrollar las plantillas de las pantallas de proceso se debe controlar la densidad de los gráficos, la cual no debe sobrepasar del 50%.

- Uso de color y directrices, según la guía GEDIS, siendo uno de los elementos más importantes dentro del contexto de las interfaces HMI, su uso adecuado (conservador, convencional y consistente) es determinante para la generación de una interfaz funcional, por lo tanto se ha escogido los siguientes colores para las pantallas.
 - i. Fondo de pantalla: Gris Plata.
 - ii. Bombas paradas: blanco, Bombas trabajando: verde.
 - iii. Alarmas: Crítico/Rojo, Advertencia/Amarillo, Normal/Azul Claro.
 - iv. Agua en tubería y tanques: Verde.
 - v. Señales de procesos: Temperatura/Marrón, Presión/Azul Rey, Caudal/Azul Marino.

- Texto: es importante regular el uso de texto para informar eficazmente al operador respecto al estado del proceso, por lo que se debe establecer un estándar que rijan su utilización. Para este caso escoge: Fuente/Sans Serif, máximo tres tamaños

diferentes, por último el texto debe ser distinguido a distancia y siempre debe existir el contraste entre el color del fondo de pantalla y texto.

4.3.2. Diseño de pantallas de HMI.

- **Arquitectura de pantallas HMI para el sistema de conducción Caza Lagarto – El Colorado.**

Dentro de la arquitectura se detalla cuáles son las pantallas que estarán presentes, sus funciones y la navegación entre cada una de ellas. La Figura 108 muestra las pantallas ubicadas en dos niveles de operación diferentes, además detalla al operador como sería la navegación entre cada una de ellas y los pasos a dar para llegar a cualquier pantalla.

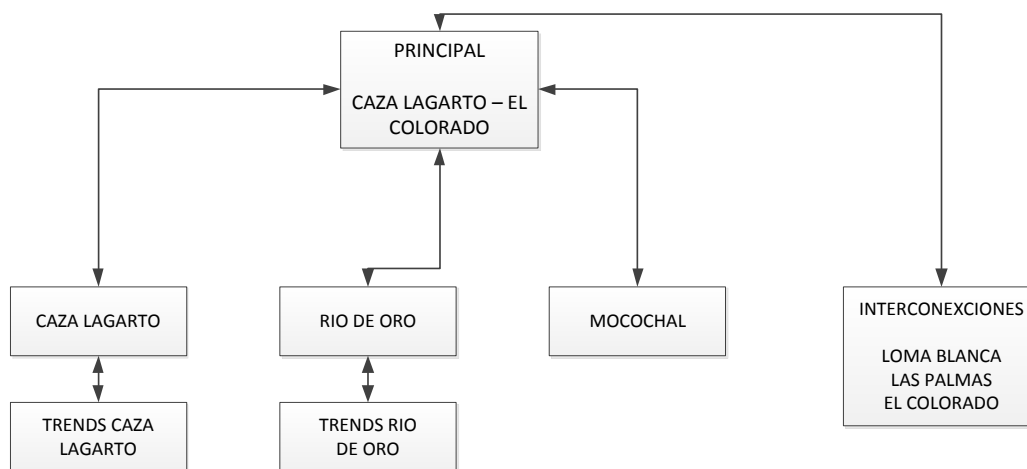


Figura 108. Arquitectura de pantallas de supervisión para el acueducto Caza Lagarto – El Colorado

- Pantalla Principal: Esta pantalla se presenta al inicio del sistema de manera automática y debe contar con los botones para navegar hacia las pantallas Caza Lagarto, Río de Oro, MocoChal e Interconexiones. Además de contar con los botones de navegación, se debe visualiza el valor de caudal en cada punto de la conducción, con el objetivo de encontrar las posibles fugas en la conducción.

- Pantalla Caza Lagarto: Para presentar esta pantalla se la debe llamar desde la Principal y las funciones de la pantalla son operar de manera automática la estación de bombeo, monitorear la temperatura de cada grupo de bombeo, presentar un panel de indicadores de estado de elementos y panel de alarmas. La pantalla tendrá la opción de regresar hacia la principal.
- Pantallas de tendencia Caza Lagarto: La pantalla se activa al ser llamada desde Caza Lagarto y sus funciones son, mostrar en un gráfico de tendencia el valor de caudal y presión en función del tiempo.
- Pantalla Rio de Oro: Para accionar esta pantalla se la debe llamar desde la Principal, y las funciones son, operar de manera automática la estación de bombeo, tanto para control de temperatura, nivel y arranque de bombas. Además en esta pantalla se debe visualizar los valores de temperatura de cada grupo de bombeo y el nivel del tanque.
- Pantalla de tendencia Rio de Oro: La pantalla se activa al ser llamada desde Río de Oro y sus funciones son: mostrar en un gráfico de tendencia el valor de caudal tanto al ingreso como a la impulsión, y presión en función del tiempo.
- Pantalla Mocochoal: Esta pantalla sirve para monitorear las operaciones del tanque ubicado en el cerro Mocochoal y la ventana se activa cuando es llamada desde la ventana principal, sus funciones son monitorear el nivel del tanque, emitir alarmas para niveles críticos, poder operar el actuador presente y supervisar el caudal presente en la tubería de descarga.
- Pantalla interconexiones: Esta pantalla es usada para monitorear el caudal existente en las interconexiones Loma Blanca, Las Palmas y el caudal que llega a la estación El Colorado, las variables deben ser presentadas en un gráfico de tendencias en función del tiempo. Para activar esta pantalla debe ser llamada desde la ventana principal.

- **Arquitectura de pantallas HMI para el sistema de conducción El Ceibal – Azúa.**

Dentro de la arquitectura se detalla cuáles son las pantallas que estarán presentes, sus funciones y la navegación entre cada una de ellas. La Figura 109 muestra las pantallas ubicadas en dos niveles de operación diferentes, además detalla al operador como sería la navegación entre cada una de ellas y los pasos a dar para llegar a cualquier pantalla.

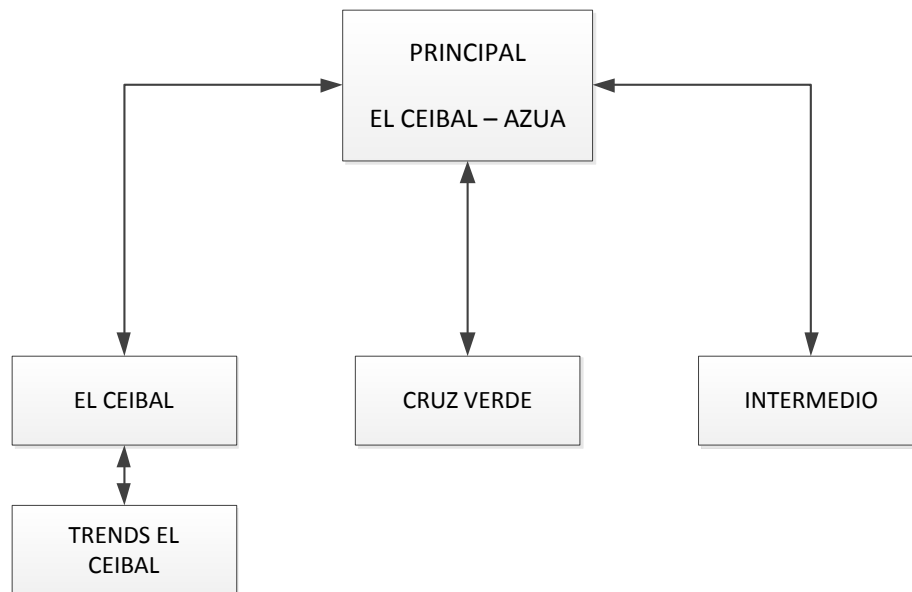


Figura 109. Arquitectura de pantallas de supervisión para el acueducto El Ceibal – Azúa

- Pantalla Principal: Esta pantalla se presenta al inicio del sistema de manera automática y debe contar con los botones para navegar hacia las pantallas El Ceibal, Cruz Verde e Intermedio. Además de contar con los botones de navegación, se debe visualizar el valor de caudal en cada punto de la conducción, con el objetivo de encontrar las posibles fugas en la conducción.

- Pantalla El Ceibal: Para presentar esta pantalla se la debe llamar desde la Principal y las funciones de la pantalla son operar de manera automática la estación de bombeo, monitorear la temperatura de cada grupo de bombeo, presentar un panel de indicadores de estado de elementos y panel de alarmas. La pantalla tendrá la opción de regresar hacia la principal.
- Pantalla de tendencia El Ceibal: La pantalla se activa al ser llamada desde El Ceibal y sus funciones son: mostrar en un gráfico de tendencia el valor de caudal a la impulsión, y presión en función del tiempo.
- Pantalla Cruz Verde: Esta pantalla sirve para monitorear las operaciones del tanque ubicado en el cerro Cruz Verde y la ventana se activa cuando es llamada desde la ventana principal, sus funciones son monitorear el nivel del tanque, emitir alarmas para niveles críticos, poder operar el actuador presente y supervisar el caudal presente en la tubería de descarga.
- Pantalla Intermedio: Esta pantalla sirve para monitorear las operaciones del tanque ubicado en el cerro Intermedio y la ventana se activa cuando es llamada desde la ventana principal, sus funciones son monitorear el nivel del tanque, emitir alarmas para niveles críticos, poder operar el actuador presente y supervisar el caudal presente en la tubería de descarga y el caudal en la tubería de ingreso.
- **Plantillas para las pantallas HMI, Principal, Estaciones de bombeo, Tanques e Interconexiones.**

A continuación se presenta la plantilla de cada interfaz a realizar, dentro de esta se especifica la ubicación y que elementos van a estar presentes, las plantillas desarrolladas indican la ubicación de los siguientes tipos de interfaces: Principal, Estaciones de bombeo, Tendencias de estaciones de bombeo, Tanques e Interconexiones, mostradas en la Figura 110, Figura 111, Figura 112, Figura 113 y Figura 114 respectivamente.



Figura 110: Plantilla de interfaces para la pantalla principal



Figura 111: Plantilla de interfaces para la pantalla de estaciones de bombeo



Figura 112: Plantilla para pantallas de gráficos de tendencia de las estaciones de bombeo

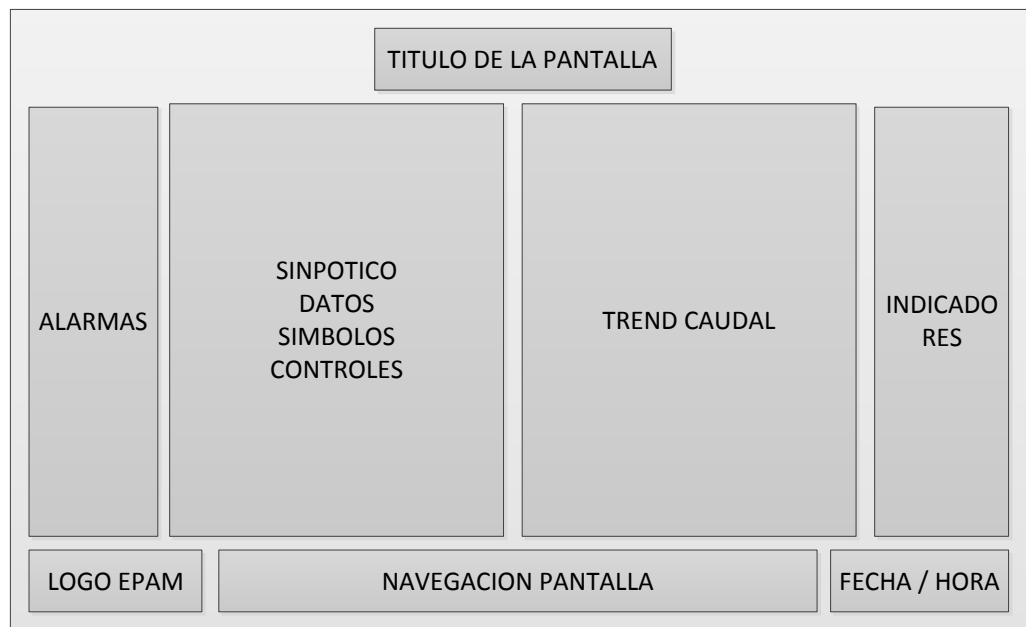


Figura 113: Plantilla de interfaces para pantallas de Tanques.

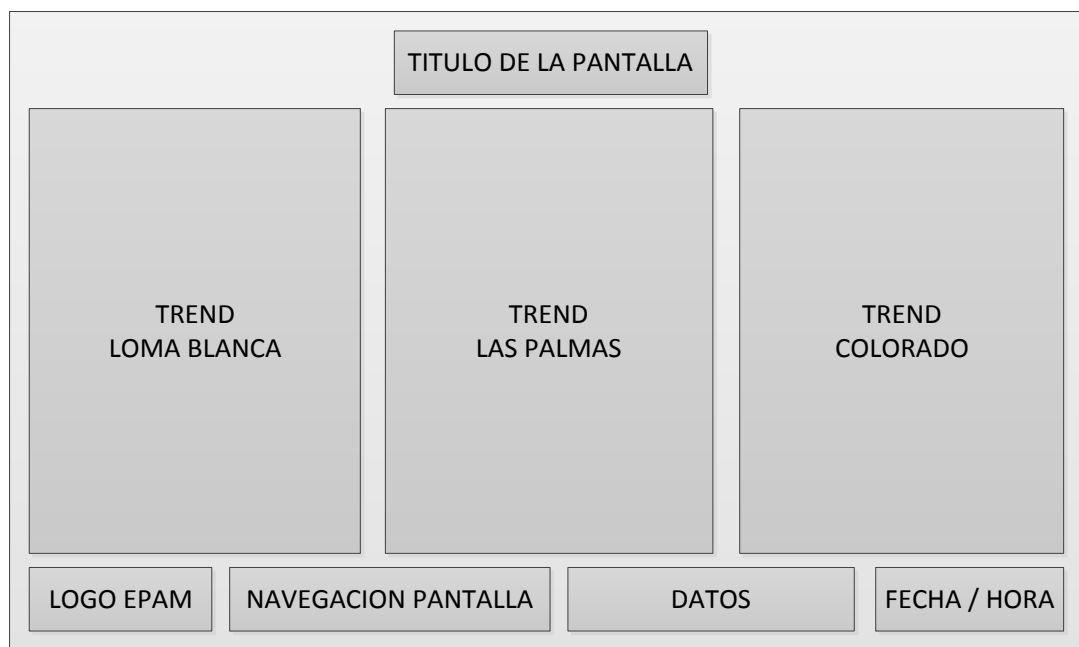


Figura 114: Plantillas de interfaces para pantalla de interconexiones

- **Desarrollo de pantallas HMI para el sistema de monitoreo de los acueductos Caza Lagarto – El Colorado y El Ceibal – Azúa.**

Las pantallas a desarrollar son basadas en las consideraciones y premisas presentadas en el diseño de interfaces tanto en la arquitectura, navegación y ubicación. Por lo tanto las pantallas elaboradas para el sistema de monitoreo de cada acueducto se presenta en la sección de Anexos Pantallas HMI Caza Lagarto – El Colorado y Pantallas HMI El Ceibal – Azúa, los nombres de las pantallas realizadas son los siguientes.

- Sistema de conducción El Ceibal – Azúa.
 - i. Principal: Esta pantalla muestra un sinóptico general de toda la línea de conducción en el cual además de presentar la simbología de cada punto se puede evaluar el caudal en cada uno de ellos, sabiendo si existe una fuga a lo largo de la conducción y activando una señal de alarma al operador mediante la interfaz.

Además cuenta con la posibilidad de navegar a cada una de las pantallas. Esta ventana es el inicio o arranque del sistema de monitoreo.

- ii. **Caza Lagarto:** La ventana muestra un sinóptico de la estación de bombeo, con la posibilidad de evaluar y monitorear el dato de caudal, presión y temperatura de cada grupo de bombeo, dentro de la ventana se puede navegar hacia la ventana principal y Caza TRN. Además la ventana presenta alarmas establecidas que se detallaran más adelante.
- iii. **Caza TRN:** Esta ventana es la encargada de presentar las curvas de respuesta de los sensores de presión y caudal en función del tiempo, así como poder monitorear estos valores y obtener un registro histórico de los mismos.
- iv. **Río de Oro:** La ventana muestra un sinóptico de la estación de bombeo, con la posibilidad de evaluar y monitorear el dato de caudal, presión, nivel del tanque y temperatura de cada grupo de bombeo, dentro de la ventana se puede navegar hacia la ventana principal y Río de Oro TRN. Además la ventana presenta alarmas establecidas que se detallaran más adelante.
- v. **Río de Oro TRN:** Esta ventana es la encargada de presentar las curvas de respuesta de los sensores de presión y caudal en función del tiempo, así como poder monitorear estos valores y obtener un registro histórico de los mismos.
- vi. **Mocochal:** La ventana permite evaluar las funciones y características del tanque ubicado en Mocochal, los datos que se pueden evaluar son nivel y caudal de descarga, además se visualiza la curva de respuesta del sensor de caudal presentada en un registro histórico. Como las demás ventanas también se puede visualizar alarmas que serán detalladas más adelante.
- vii. **Interconexiones:** Esta ventana presenta los valores de caudal medido por los sensores ubicados en Loma Blanca, Las Palmas y El Colorado.

– Sistema de conducción Caza Lagarto – El Colorado.

- i. Principal: Esta pantalla muestra un sinóptico general de toda la línea de conducción en el cual además de presentar la simbología de cada punto se puede evaluar el caudal en cada uno de ellos, sabiendo si existe una fuga a lo largo de la conducción y activando una señal de alarma al operador mediante la interfaz. Además cuenta con la posibilidad de navegar a cada una de las pantallas. Esta ventana es el inicio o arranque del sistema de monitoreo.
- ii. El Ceibal: La ventana muestra un sinóptico de la estación de bombeo, con la posibilidad de evaluar y monitorear el dato de caudal, presión, nivel del tanque y temperatura de cada grupo de bombeo, dentro de la ventana se puede navegar hacia la ventana principal y El Ceibal TRN. Además la ventana presenta alarmas establecidas que se detallaran más adelante.
- iii. El Ceibal TRN: Esta ventana es la encargada de presentar las curvas de respuesta de los sensores de presión y caudal en función del tiempo, así como poder monitorear estos valores y obtener un registro histórico de los mismos.
- iv. Cruz verde: La ventana permite evaluar las funciones y características del tanque ubicado en Cruz Verde, los datos que se pueden evaluar son nivel y caudal de descarga, además se visualiza la curva de respuesta del sensor de caudal presentada en un registro histórico. Como las demás ventanas también se puede visualizar alarmas que serán detalladas más adelante.
- v. Intermedio: La ventana permite evaluar las funciones y características del tanque Intermedio, los datos que se pueden evaluar son nivel, caudal de ingreso y caudal de descarga, además se visualiza la curva de respuesta de cada sensor de caudal presentada en un registro histórico. Como las demás ventanas también se puede visualizar alarmas que serán detalladas más adelante.

4.3.3. Diseño de la lógica de operación y control de la interfaz HMI.

- Operación del sistema de monitoreo Caza Lagarto – El Colorado.

Las siete pantallas desarrolladas para el sistema de supervisión de este acueducto navegan bajo la siguiente lógica de control presentada en la Figura 115.

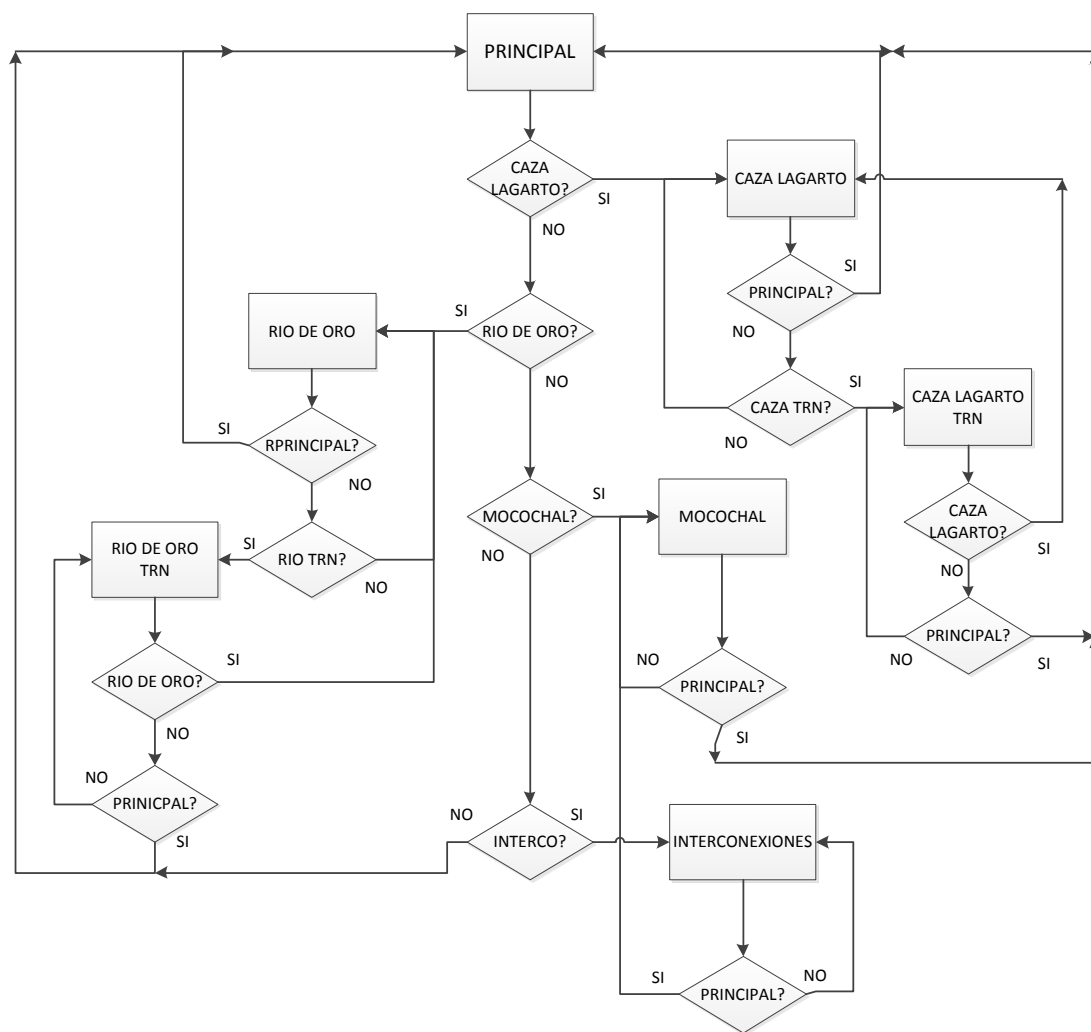


Figura 115. Lógica de navegación para pantallas del sistema Caza Lagarto – El Colorado

- **Operación del sistema de monitoreo El Ceibal – Azúa.**

Las cinco pantallas desarrolladas para el sistema de supervisión de este acueducto navegan bajo la siguiente lógica de control presentada en la Figura 116.

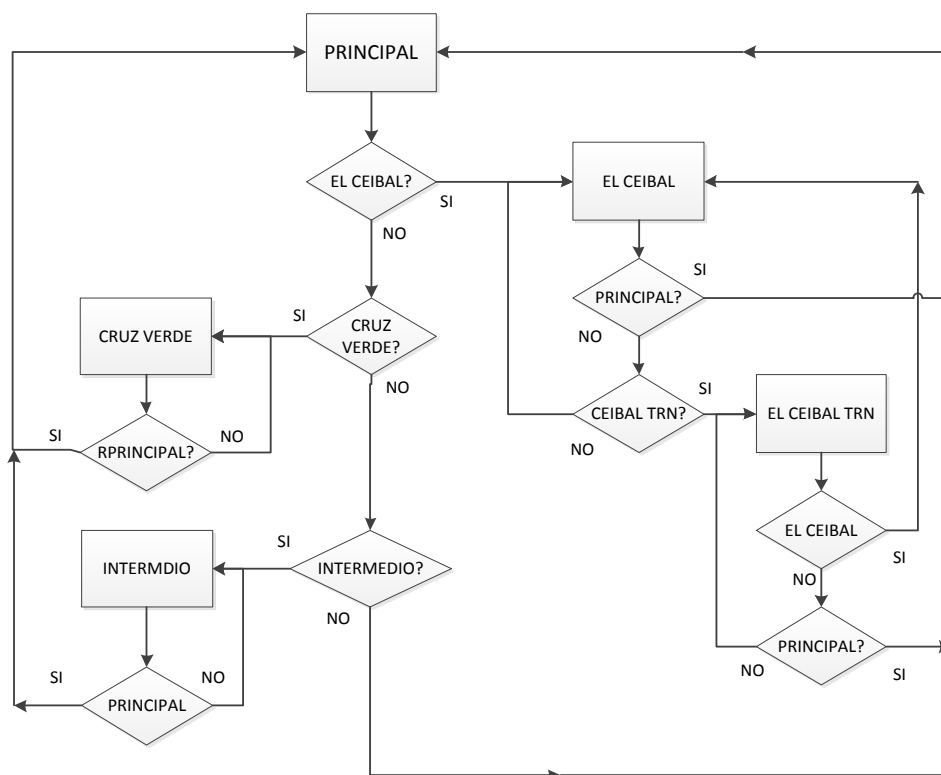



Figura 116. Lógica de navegación para pantallas del sistema El Ceibal – Azúa

- **Descripción de tags y elementos presentes en las ventanas del sistema Caza Lagarto – El Colorado.**
- **Descripción de tags y elementos presentes en la ventana Principal.**

Los elementos y tags presentes en esta ventana se presentan en la Tabla 72 y la asociación de cada tag con su respectivo PLC.

Tabla 72. Descripción de tags y elementos de la pantalla Principal del sistema Caza Lagarto - El Colorado

Nombre	Tag	Tipo	Descripción	Tag PLC
Fuga 1 MC – LB	PRN_ALAMC_L B	I/O DISCRETE	Alarma fuga tramo Mocochal – Loma Blanca	CON D_F1
Fuga 2 LB – RO	PRN_ALALB_R O	I/O DISCRETE	Alarma fuga tramo Loma Blanca – Río de Oro	CON D_F2
Fuga 3 RO – LP	PRN_ALARO_L P	I/O DISCRETE	Alarma fuga tramo Río de Oro – Las Palmas	CON D_F3
Fuga 4 LP – COL	PRN_ALALP_C OL	I/O DISCRETE	Alarma fuga tramo Las Palmas – El Colorado	CON D_F4
Caza Lagarto	PRN_IND_CL	I/O DISCRETE	Indicador operación Caza Lagarto	CL_O PR
Río de Oro	PRN_IND_RO	I/O DISCRETE	Indicador operación Río de Oro	RO_O PR
Mocochal	PRN_IND_MC	I/O DISCRETE	Indicador operación Mocochal	MC_ OPR
Caudal Caza Lagarto	CAU_CL	I/O REAL	Valor de Caudal de impulsión en Caza Lagarto	CL_C AUD_ IMP
Caudal Mocochal	CAU_MC	I/O REAL	Valor de Caudal de descarga Mocochal	MC_ CAU
Caudal Loma Blanca 1	CAU_LB1	I/O REAL	Valor de Caudal ingreso Loma Blanca	LB_C AU_I N
Caudal Loma Blanca 2	CAU_LB3	I/O REAL	Valor de Caudal salida Loma Blanca	LB_C AU_O UT
Caudal Río de Oro 1	CAU_RO1	I/O REAL	Valor de Caudal ingreso Río de Oro	RO_C AU_I N

Continua 


Caudal Río de Oro 2	CAU_RO2	I/O REAL	Valor de Caudal impulsión Río de Oro	RO_C AU_I MP
Caudal Palmas	CAU_LP	I/O REAL	Valor de Caudal en Las Palmas	LP_C AU
Caudal Colorado	CAU_COL	I/O REAL	Valor de Caudal en El Colorado	COL_ CAU

– **Descripción de tags y elementos presentes en la ventana Caza Lagarto.**

Los elementos y tags presentes en esta ventana se presentan en la Tabla 73.

Tabla 73. Descripción de tags y elementos de la pantalla Caza Lagarto del sistema Caza Lagarto - El Colorado

Nombre	Tag	Tipo	Descripción	Tag PLC
Temperatura Bomba 1	CL_ALAT1	I/O DISCRETE	Alarma temperatura mayor 200 °C en motor 1	CL_T1ALA
Temperatura Bomba 2	CL_ALAT2	I/O DISCRETE	Alarma temperatura mayor 200 °C en motor 2	CL_T2ALA
Temperatura Bomba 3	CL_ALAT3	I/O DISCRETE	Alarma temperatura mayor 200 °C en motor 3	CL_T3ALA
Nivel Reservorio	CL_ALALEV	I/O DISCRETE	Alarma nivel reservorio inferior a 0.6 m	CL_SWLEV
Opción 1	CL_OP1	I/O DISCRETE	Operación automática de las bombas 1 y 2	CL_CONDI CION1
Opción 2	CL_OP2	I/O DISCRETE	Operación automática de las bombas 2 y 3	CL_CONDI CION2
Opción 3	CL_OP3	I/O DISCRETE	Operación automática de las bombas 1 y 3	CL_CONDI CION3
OFF B1	CL_OFF_B1	I/O DISCRETE	Botón apaga bomba 1	CL_STOP_B 1

Continua 

OFF B2	CL_OFF_B2	I/O DISCRETE	Botón bomba 2	apaga	CL_STOP_B 2
OFF B3	CL_OFF_B3	I/O DISCRETE	Botón bomba 3	apaga	CL_STOP_B 3
Bomba 1	CL_IND_B1	I/O DISCRETE	Indicador activación 1	bomba	CL_OUT_S ATB1
Bomba 2	CL_IND_B2	I/O DISCRETE	Indicador activación 2	bomba	CL_OUT_S ATB2
Bomba 3	CL_IND_B3	I/O DISCRETE	Indicador activación 3	bomba	CL_OUT_S ATB3
Temperatura B1	CL_TEMP1	I/O REAL	Valor Temperatura motor 1	de en	CL_TEMP_P 01
Temperatura B2	CL_TEMP2	I/O REAL	Valor Temperatura motor 2	de en	CL_TEMP_P 02
Temperatura B3	CL_TEMP3	I/O REAL	Valor Temperatura motor 3	de en	CL_TEMP_P 03
Caudal Impulsión	CAU_CL	I/O REAL	Valor de Caudal de impulsión		CL_CAUD_I MP
Presión Impulsión	PRE_CL	I/O REAL	Valor de Presión de impulsión		CL_PRE_IM P

– **Descripción de tags y elementos presentes en la ventana Caza Lagarto TRN.**


Esta ventana es usada para mostrar las curvas de presión y caudal en función del tiempo, las únicas variables presentes aquí son Caudal Impulsión y Presión Impulsión que ya han sido presentadas en la Tabla 73.

– **Descripción de tags y elementos presentes en la ventana Río de Oro.**

Los elementos y tags presentes en esta ventana se presentan en la Tabla 74.

Tabla 74. Descripción de tags y elementos de la pantalla Río de Oro del sistema Caza Lagarto - El Colorado.

Nombre	Tag	Tipo	Descripción	Tag PLC
Temperatura Bomba 1	RO_ALAT 1	I/O DISCRETE	Alarma temperatura mayor 200 °C en motor 1	RO_AL A_B1
Temperatura Bomba 2	RO_ALAT 2	I/O DISCRETE	Alarma temperatura mayor 200 °C en motor 2	RO_AL A_B2
Nivel Tanque Alto	RO_LAH	I/O DISCRETE	Alarma nivel tanque superior a 4.6 m	RO_LA H
Nivel Tanque Bajo	RO_LAL	I/O DISCRETE	Alarma nivel tanque inferior a 0.6 m	RO_LA L
ON Bomba 1	RO_ONB1	I/O DISCRETE	Botón Arranque bomba 1	RO_O UT_ST AB1
ON Bomba 2	RO_ONB2	I/O DISCRETE	Botón Arranque bomba 2	RO_O UT_ST AB2
OFF Bomba 1	RO_OFFB1	I/O DISCRETE	Botón Paro bomba 1	RO_O UT_ST OB1
OFF Bomba 2	RO_OFFB2	I/O DISCRETE	Botón Paro bomba 2	RO_O UT_ST OB2
Válvula	RO_VALV	I/O DISCRETE	Switch ON/OFF válvula de salida	RO_O UT_AC UTAD O
Bomba 1	RO_IND_B 1	I/O DISCRETE	Indicador activación bomba 1	RO_O UT_ST AB1
Bomba 2	RO_IND_B 2	I/O DISCRETE	Indicador activación bomba 2	RO_O UT_ST AB2
Válvula Salida	RO_IND_V ALV	I/O DISCRETE	Indicador activación bomba 3	RO_O UT_AC UTAD OR
Temperatura B1	RO_TEMP 1	I/O REAL	Valor de Temperatura en motor 1	RO_TE MP_PO 1
Temperatura B2	RO_TEMP 2	I/O REAL	Valor de Temperatura en motor 2	RO_TE MP_PO 2

Continua 

Caudal Ingreso	CAU_RO1	I/O REAL	Valor de caudal de ingreso a la estación.	RO_C AU_IN
Caudal Impulsión	CAU_RO2	I/O REAL	Valor de Caudal presente en la tubería de impulsión.	RO_C AU_IMP
Presión Impulsión	PRE_RO	I/O REAL	Valor de Presión presente en la tubería de impulsión.	RO_PR E_IMP
Nivel Tanque	RO_LEV	I/O REAL	Valor de nivel del tanque de estación	RO_NI V

– **Descripción de tags y elementos presentes en la ventana Río de Oro TRN.**

Esta ventana es usada para mostrar las curvas de presión y caudal en función del tiempo, las únicas variables presentes aquí son Caudal Ingreso, Caudal Impulsión y Presión Impulsión que ya han sido presentadas en la Tabla 73.

– **Descripción de tags y elementos presentes en la ventana Mocochoal.**

Los elementos y tags presentes en esta ventana se presentan en la Tabla 75.

Tabla 75. Descripción de tags y elementos de la pantalla Mocochoal del sistema Caza Lagarto - El Colorado

Nombre	Tag	Tipo	Descripción	Tag PLC
Nivel Tanque Alto	MC_LAH	I/O DISCRETE	Alarma nivel tanque superior a 4.6 m	MC_LAH
Nivel Tanque Bajo	MC_LAL	I/O DISCRETE	Alarma nivel tanque inferior a 0.6 m	MC_LAL
Válvula de Descarga	MC_VALV	I/O DISCRETE	Switch ON/OFF válvula de salida	MC_ACT UADOR
Operación Tanque	MC_IND_OP	I/O DISCRETE	Indicador de operación normal del tanque	MC_OPR
Válvula Descarga	MC_IND_V ALV	I/O DISCRETE	Indicador operación de válvula descarga	MC_ACT UADOR
Caudal Salida	CAU_MC	I/O REAL	Valor de caudal de salida	MC_CAU
Nivel Tanque	LEV_MC	I/O REAL	Valor de nivel de tanque	MC_NIV

– **Descripción de tags y elementos presentes en la ventana Interconexiones.**

Esta ventana es usada para mostrar las curvas de caudal en función del tiempo medidas en las interconexiones de la línea de conducción, las únicas variables presentes aquí son Caudal Loma Blanca 1, Caudal Loma Blanca 2, Caudal Las Palmas y Caudal El Colorado que ya han sido presentadas en la Tabla 73.

• **Descripción de tags y elementos presentes en la ventana del sistema El Ceibal – Azúa.**

– **Descripción de tags y elementos presentes en la ventana Principal.**

Los elementos y tags presentes en esta ventana se presentan en la Tabla 76 y la asociación de cada tag con su respectivo PLC.

Tabla 76. Descripción de tags y elementos de pantalla Principal del sistema El Ceibal – Azúa


Nombre	Tag	Tipo	Descripción	PLC Tag
Fuga 1 CV – INT	PRN_ALACV _INT	I/O DISCRETE	Alarma fuga tramo Cruz Verde – Intermedio	COND_F1
Fuga 2 INT – AZ	PRN_ALAINT _AZ	I/O DISCRETE	Alarma fuga tramo Intermedio – Azúa	COND_F2
El Ceibal	PRN_IND_EC E	I/O DISCRETE	Indicador operación El Ceibal	ECE_OPR
Cruz Verde	PRN_IND_CV	I/O DISCRETE	Indicador Operación Cruz Verde	CV_OPR
Intermedio	PRN_IND_IN T	I/O DISCRETE	Indicador Operación Intermedio.	INT_OPR
Caudal El Ceibal	CAU_ECE	I/O REAL	Valor de Caudal de impulsión en El Ceibal	ECE_CA UD_IMP
Caudal Cruz Verde	CAU_CV	I/O REAL	Valor de Caudal descarga en Cruz Verde	CV_CAU
Caudal Intermedio 1	CAU_INT1	I/O REAL	Valor de Caudal de ingreso en Intermedio	INT_CAU _IN
Caudal Intermedio 2	CAU_INT2	I/O REAL	Valor de Caudal de descarga en Intermedio	INT_CAU _DES
Caudal Azúa	CAU_AZ	I/O REAL	Valor de Caudal ingreso Azúa	AZ_CAU

– **Descripción de tags y elementos presentes en la ventana El Ceibal.**

Los elementos y tags presentes en esta ventana se presentan en la Tabla 77 y la asociación de cada tag con su respectivo PLC.

Tabla 77. Descripción de tags y elementos de pantalla El Ceibal del sistema El Ceibal – Azúa

Nombre	Tag	Tipo	Descripción	Tag PLC
Temperatura Bomba 1	ECE_ALAT1	I/O DISCRETE	Alarma temperatura mayor 155 °C en motor 1	ECE_TEM P_P01
Temperatura Bomba 2	ECE_ALAT2	I/O DISCRETE	Alarma temperatura mayor 155 °C en motor 2	ECE_TEM P_P02
Temperatura Bomba 3	ECE_ALAT3	I/O DISCRETE	Alarma temperatura mayor 155 °C en motor 3	ECE_TEM P_P03
Temperatura Bomba 4	ECE_ALAT4	I/O DISCRETE	Alarma temperatura mayor 155 °C en motor 4	ECE_TEM P_P04
Nivel Tanque Alto	ECE_LAH	I/O DISCRETE	Alarma nivel tanque superior a 4.6 m	ECE_LAH
Nivel Tanque Bajo Bomba 1	ECE_LAL	I/O DISCRETE	Alarma nivel tanque inferior a 0.6 m	ECE_LAL
Bomba 1	ECE_INDB1	I/O DISCRETE	Indicador operación bomba 1	ECE_OUT_ STAB1
Bomba 2	ECE_INDB2	I/O DISCRETE	Indicador operación bomba 3	ECE_OUT_ STAB1
Bomba 3	ECE_INDB3	I/O DISCRETE	Indicador operación bomba 2	ECE_OUT_ STAB1
Bomba 4	ECE_INDB4	I/O DISCRETE	Indicador operación bomba 4	ECE_OUT_ STAB1
Válvula Salida	ECE_INDV ALV	I/O DISCRETE	Indicador operación válvula de salida	ECE_OUT_ ACTUADO R
Opción 1	ECE_OP1	I/O DISCRETE	Operación automática de las bombas 1, 2 y 3	ECE_OP1
Opción 2	ECE_OP2	I/O DISCRETE	Operación automática de las bombas 2, 3 y 4	ECE_OP2
Opción 3	ECE_OP3	I/O DISCRETE	Operación automática de las bombas 1, 3 y 4	ECE_OP3

Continua 

Opción 4	ECE_OP4	I/O DISCRETE	Operación automática de las bombas 1, 2 y 4	ECE_OP4
OFF B1	ECE_OFF_B1	I/O DISCRETE	Botón apaga bomba 1	ECE_OUT_STOB1
OFF B2	ECE_OFF_B2	I/O DISCRETE	Botón apaga bomba 2	ECE_OUT_STOB2
OFF B3	ECE_OFF_B3	I/O DISCRETE	Botón apaga bomba 3	ECE_OUT_STOB3
OFF B4	ECE_OFF_B4	I/O DISCRETE	Botón apaga bomba 4	ECE_OUT_STOB4
Válvula	ECE_VALVULA	I/O DISCRETE	Switch ON/OFF válvula de salida	ECE_OUT_ACTUADOR
Temperatura B1	ECE_TEMP1	I/O REAL	Valor de Temperatura en motor 1	ECE_TEMP_P01
Temperatura B2	ECE_TEMP2	I/O REAL	Valor de Temperatura en motor 2	ECE_TEMP_P02
Temperatura B3	ECE_TEMP3	I/O REAL	Valor de Temperatura en motor 3	ECE_TEMP_P03
Temperatura B4	ECE_TEMP4	I/O REAL	Valor de Temperatura en motor 4	ECE_TEMP_P04
Nivel Tanque	LEV_ECE	I/O REAL	Valor de nivel en el tanque	ECE_NIV
Caudal Impulsión	CAU_ECE	I/O REAL	Valor de Caudal de impulsión	ECE_CAUD_IMP
Presión Impulsión	PRE_ECE	I/O REAL	Valor de Presión de impulsión	ECE_PRE_IMP

– **Descripción de tags y elementos presentes en la ventana El Ceibal TRN.**

Esta ventana es usada para mostrar las curvas de presión y caudal en función del tiempo, las únicas variables presentes aquí son Caudal Impulsión y Presión Impulsión que ya han sido presentadas en la Tabla 73.

– **Descripción de tags y elementos presentes en la ventana Cruz Verde.**

Los elementos y tags presentes en esta ventana se presentan en la Tabla 78 y la asociación de cada tag con su respectivo PLC.

Tabla 78. Descripción de tags y elementos de pantalla Cruz Verde del sistema El Ceibal – Azúa.


Nombre	Tag	Tipo	Descripción	Tag PLC
Nivel Tanque Alto	CV_LAH	I/O DISCRETE	Alarma nivel tanque superior a 4.6 m	CV_LAH
Nivel Tanque Bajo	CV_LAL	I/O DISCRETE	Alarma nivel tanque inferior a 0.6 m	CV_LAL
Válvula de Descarga	CV_VALV	I/O DISCRETE	Switch ON/OFF válvula de salida	CV_ACTU ADOR
Operación Tanque	CV_IND_OP	I/O DISCRETE	Indicador de operación normal del tanque	CV_OPR
Válvula Descarga	CV_IND_V ALV	I/O DISCRETE	Indicador operación de válvula descarga	CV_ACTU ADOR
Caudal Salida	CAU_CV	I/O REAL	Valor de caudal de salida	CV_CAU
Nivel Tanque	LEV_CV	I/O REAL	Valor de nivel de tanque	CV_NIV

– **Descripción de tags y elementos presentes en la ventana Intermedio.**

Elementos y tags presentes en esta ventana se presentan en la Tabla 79 y la asociación de cada tag con su respectivo PLC.

Tabla 79. Descripción de tags y elementos de la pantalla Intermedio del sistema El Ceibal – Azúa

Nombre	Tag	Tipo	Descripción	Tag PLC
Nivel Tanque Alto	INT_LAH	I/O DISCRETE	Alarma nivel tanque superior a 4.6 m	INT_LAH
Nivel Tanque Bajo	INT_LAL	I/O DISCRETE	Alarma nivel tanque inferior a 0.6 m	INT_LAL
Válvula de Descarga	INT_VALV	I/O DISCRETE	Switch ON/OFF válvula de salida	INT_ACTU ADOR
Operación Tanque	INT_IND_OP	I/O DISCRETE	Indicador de operación normal del tanque	INT_OPR
Válvula Descarga	INT_IND_VA LV	I/O DISCRETE	Indicador operación de válvula descarga	INT_ACTU ADOR
Caudal Ingreso	CAU_INT1	I/O REAL	Valor de caudal de ingreso	INT_CAU_ IN

Continua 

Caudal Salida	CAU_INT2	I/O REAL	Valor de caudal de salida	de	caudal de	INT_CAU_DES
Nivel Tanque	LEV_INT	I/O REAL	Valor de nivel de tanque	de	nivel de	INT_NIV

4.3.4. Diseño de sistema generador de reportes y alarmas.

El sistema generador de reportes será orientado al uso del programa HMI REPORTS de Wonderware el cual permite generar de manera sencilla un sistema de reportes que permite producir reportes tanto informativos como visuales desde una aplicación de InTouch, estos reportes pueden generarse de manera programada ya sea por ciclos de tiempo en segundos, minutos, horas o días, los datos a transmitir desde las interfaces al sistema de reportes será datos de alarmas, valores de caudal y valores de presión. Los sistemas de reportes para cada acueducto se desarrollaran de la siguiente manera.

- **Sistema generador de reportes para Caza Lagarto – El Colorado.**

Los datos seleccionados para ser parte del sistema generador de reportes son los siguientes: Alarmas de fuga para cada uno de los cuatros tramos, alarmas de nivel de tanques Mococho y Río de Oro, alarmas de temperatura para las bombas de las estaciones de bombeo, mediciones de caudal tomadas en cada punto a lo largo de la conducción y datos de presión en las tuberías de impulsión.

Se crea el driver que permite la comunicación entre InTouch y HMI REPORTS de tal manera que los tags y sus valores de la interfaz sean transferidos hacia la aplicación de reportes, la Figura 117 muestra la configuración del driver para esta aplicación.

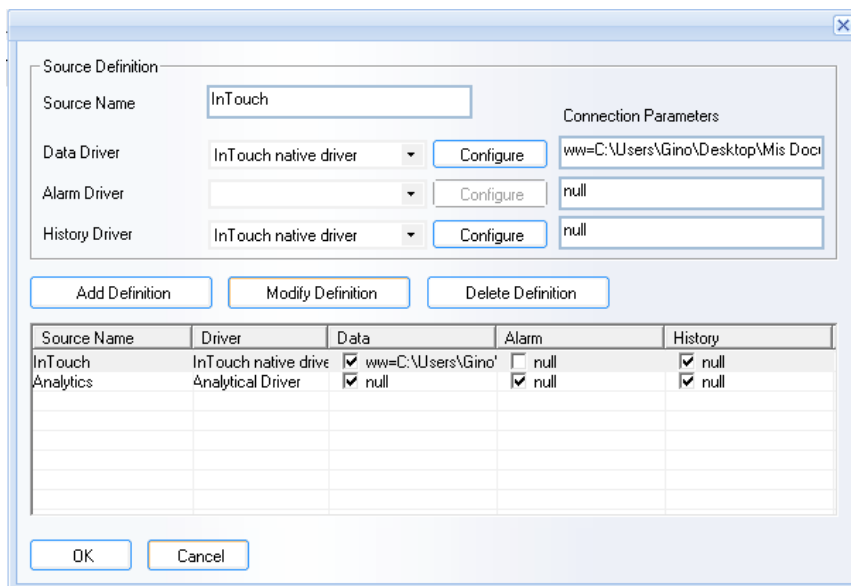


Figura 117: Driver para comunicación entre InTouch y HMI REPORTS

Los tags necesarios son seleccionados por el HMI REPORTS desde la aplicación de InTouch en un total de 23 y son presentados en la Figura 118.

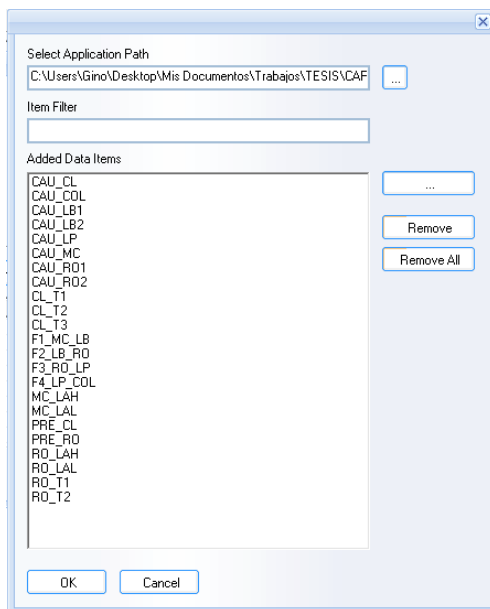


Figura 118: Selección de tags desde la aplicación de InTouch para el sistema Caza Lagarto - El Colorado

La configuración de tiempos y periodos para tomas de datos se muestra en la Figura 119 destacando el periodo de tiempo de 10 minutos, y el rango desde 01:00 a 23:59 horas.

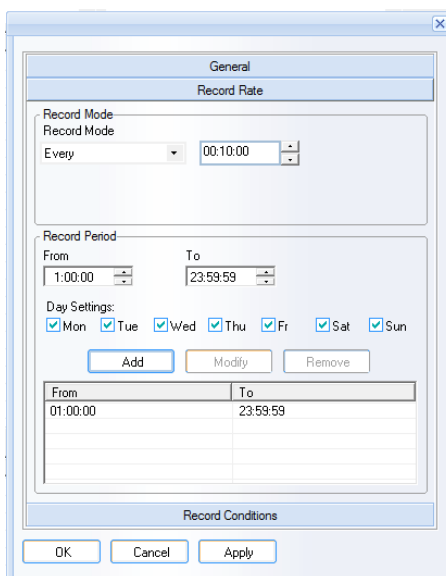


Figura 119: Configuración de periodos de tiempo y horarios para la generación de reportes del sistema Caza Lagarto - El Colorado

El Reporte debe ser presentado en un archivo PDF el cual incluye las siguientes tablas con sus principales características mostradas en las Tablas 80, 81, 82, 83, 84.

Tabla 80. Formato de presentación de reportes, Alarmas Fugas, Caza Lagarto - El Colorado.

Alarmas Fugas			
Nombre	Estado	Hora	Fecha
Fuga Mocochal - Loma Blanca	ON/OFF	10:10:00	14-07-04
Fuga Loma Blanca – Río de Oro	ON/OFF	10:20:00	14-07-04
Fuga Río de Oro – Las Palmas	ON/OFF	10:30:00	14-07-04
Fuga Las Palmas – El Colorado	ON/OFF	10:40:00	14-07-04

Tabla 81. Formato de reportes para alarmas de nivel en tanques, Caza Lagarto - El Colorado

Alarmas Niveles de Tanques			
Nombre	Estado	Hora	Fecha
Nivel Alto Mocochoal	ON/OFF	10:10:00	14-07-04
Nivel Bajo Mocochoal	ON/OFF	10:20:00	14-07-04
Nivel Alto Río de Oro	ON/OFF	10:30:00	14-07-04
Nivel Bajo Río de Oro	ON/OFF	10:40:00	14-07-04

Tabla 82. Formato de reportes para alarmas de temperatura en bombas, Caza Lagarto - El Colorado

Alarmas de Temperatura, Estaciones de bombeo			
Nombre	Estado	Hora	Fecha
CL Temperatura B1	ON/OFF	10:10:00	14-07-04
CL Temperatura B2	ON/OFF	10:20:00	14-07-04
CL Temperatura B3	ON/OFF	10:30:00	14-07-04
RO Temperatura B1	ON/OFF	10:40:00	14-07-04
RO Temperatura B2	ON/OFF	10:50:00	14-07-04

Tabla 83. Formato de reportes para datos de caudal en línea de conducción Caza Lagarto - El Colorado

Datos de caudal presente en la conducción			
Nombre	Valor Actual	Hora	Fecha
Caudal Caza Lagarto	250	10:10:00	14-07-04
Caudal Mocochoal	200	10:20:00	14-07-04
Caudal 1 Loma Blanca	200	10:30:00	14-07-04
Caudal 2 Loma Blanca	180	10:40:00	14-07-04
Caudal ingreso Río de Oro	180	10:50:00	14-07-04
Caudal salida Río de Oro	280	11:00:00	14-07-04
Caudal Las Palmas	280	11:10:00	14-07-04
Caudal El Colorado	280	11:20:00	14-07-04

Tabla 84. Formato de reportes para datos de presión en estaciones de bombeo, Caza Lagarto - El Colorado

Datos de presión presente en la conducción			
Nombre	Valor Actual	Hora	Fecha
Presión Caza Lagarto	380	10:10:00	14-07-04
Presión Río de Oro	320	10:20:00	14-07-04

- **Sistema generador de reportes para El Ceibal – Azúa.**

Los datos seleccionados para ser parte del sistema generador de reportes son los siguientes: Alarmas de fuga para cada uno de los dos tramos, alarmas de nivel de tanques El Ceibal, Cruz Verde e Intermedio, alarmas de temperatura para las bombas de la estación de bombeo, mediciones de caudal tomadas en cada punto a lo largo de la conducción y datos de presión en las tubería de impulsión de El Ceibal.

Se crea el driver que permite la comunicación entre InTouch y HMI REPORTS de tal manera que los tags y sus valores de la interfaz sean transferidos hacia la aplicación de reportes, en la Figura 4.27 presentada en el apartado anterior se muestra la configuración del driver para esta aplicación.

Los tags necesarios son seleccionados por el HMI REPORTS desde la aplicación de InTouch en un total de 18 y son presentados en la Figura 120.



Figura 120. Selección de tags desde la aplicación de InTouch para el sistema El Ceibal – Azúa

La configuración de tiempos y periodos para tomas de datos se muestra en la Figura 121 destacando el periodo de tiempo de 10 minutos, y el rango desde 00:01 a 23:59 horas.

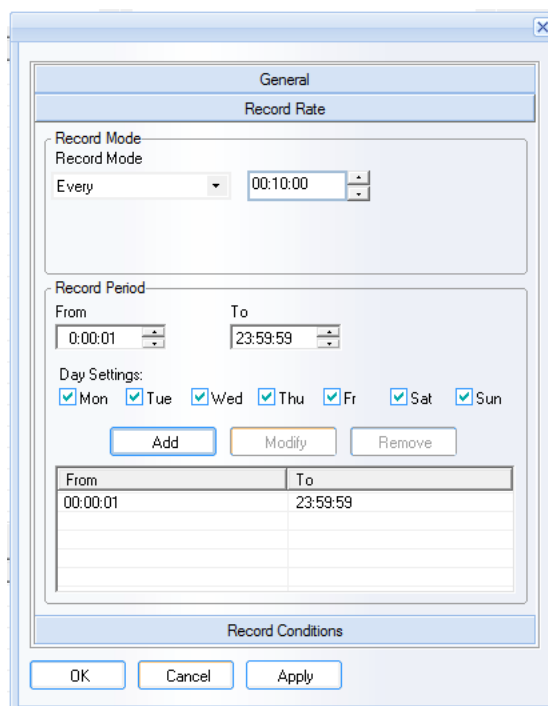


Figura 121. Configuración de periodos de tiempo y horarios para la generación de reportes del sistema El Ceibal – Azúa

El Reporte debe ser presentado en un archivo PDF el cual incluye las siguientes tablas con sus principales características mostradas en las Tablas 85, 86, 87, 88, 89.

Tabla 85. Formato de presentación de reportes, Alarmas Fugas, El Ceibal – Azúa

Alarmas Fugas			
Nombre	Estado	Hora	Fecha
Fuga Cruz Verde – Intermedio	ON/OFF	15:10:00	14-07-04
Fuga Intermedio – Azúa	ON/OFF	15:20:00	14-07-04

Tabla 86. Formato de reportes para alarmas de nivel en tanques, El Ceibal – Azúa

Alarmas Niveles de Tanques			
Nombre	Estado	Hora	Fecha
Nivel Alto El Ceibal	ON/OFF	15:10:00	14-07-04
Nivel Bajo El Ceibal	ON/OFF	15:20:00	14-07-04
Nivel Alto Cruz Verde	ON/OFF	15:30:00	14-07-04
Nivel Bajo Cruz Verde	ON/OFF	15:40:00	14-07-04
Nivel Alto Intermedio	ON/OFF	15:50:00	14-07-04
Nivel Bajo Intermedio	ON/OFF	16:00:00	14-07-04

Tabla 87. Formato de reportes para alarmas de temperatura en bombas, El Ceibal – Azúa

Alarmas de Temperatura, Estaciones de bombeo			
Nombre	Estado	Hora	Fecha
ECE Temperatura B1	ON/OFF	15:10:00	14-07-04
ECE Temperatura B2	ON/OFF	15:20:00	14-07-04
ECE Temperatura B3	ON/OFF	15:30:00	14-07-04
ECE Temperatura B4	ON/OFF	15:40:00	14-07-04

Tabla 88. Formato de reportes para datos de caudal en línea de conducción El Ceibal – Azúa

Datos de caudal presente en la conducción			
Nombre	Valor Actual	Hora	Fecha
Caudal El Ceibal	500	15:10:00	14-07-04
Caudal Cruz Verde	400	15:20:00	14-07-04
Caudal 1 Intermedio	400	15:30:00	14-07-04
Caudal 2 Intermedio	380	15:40:00	14-07-04
Caudal Azúa	380	15:50:00	14-07-04

Tabla 89. Formato de reportes para datos de presión en estaciones de bombeo, Caza Lagarto - El Colorado

Datos de presión presente en la conducción			
Nombre	Valor Actual	Hora	Fecha
Presión El Ceibal	410	10:10:00	14-07-04

4.3.5. Diseño de base de datos integrada al sistema.

La base de datos para este sistema será desarrollada en SQL Server 2008, en el cual se crean las tablas para ingreso de los datos y sus parámetros, para la integración con las

interfaces de InTouch se usará el complemento SQL Access Manager, el cual es diseñado para transferir datos desde y hacia una base de datos de SQL a una aplicación de InTouch.

La aplicación de integración con base de datos, será capaz de transferir datos en tiempo real como estados de alarma tanto para fugas como operación de cada unidad y el caudal medido por cada sensor perteneciente al sistema de conducción de aguas desde InTouch a una base de datos de SQL y que desde la interfaz se pueda realizar consultas sobre los datos escritos en la base de datos.

La base de datos implementada en SQL, provee la habilidad para que la información sea transferida entre una o más aplicaciones que se puedan requerir. SQL Access Manager permite que el dato sea accedido y desplegado en las aplicaciones de InTouch de los sistemas Caza Lagarto – El Colorado y El Ceibal – Azúa.

Para el desarrollo del sistema de integración de base de datos se usara las funciones de InTouch SQL Access Product que consiste en el programa de SQL Access Manager y las funciones conocidas en SQL. Esta aplicación será usada para asociar las columnas de la base de datos con los nombres de tags en el diccionario de tags de InTouch. El proceso para asociar las columnas de la base de datos y el diccionario de tags es llamado “binding” mientras que la interfaz HMI de InTouch será capaz de modificar directamente la base de datos mediante las funciones de SQL Access Manager.

Las funciones de SQL pueden ser usados en cualquier script de acción de InTouch. Estas funciones pueden ser ejecutadas automáticamente basándose en una entrada de operador, cambio de valor de un tag, o cuando una condición en particular existe.

- **Desarrollo de base de datos para el sistema Caza Lagarto – El Colorado.**
 - Tablas de la base de datos creadas en SQL Server: La base de datos para este sistema tiene el nombre de CAZA_COLORADO, la cual está alojada en el

servidor local o llamado localhost y posee las siguientes tablas que cuentan con la siguiente configuración.

- i. Tabla 1, ALARMAS_FUGAS: Esta tabla es usada para guardar los datos de alarma para la posibles fugas en la línea de conducción, además de conocer el estado de la alarma también se puede conocer la hora y fecha en la que se ocasionó la fuga, la Figura 122 presenta la tabla desarrollada destacando los campos como columnas y sus tipos de datos.

Column Name	Data Type	Allow Nulls
ALA_F1	varchar(50)	<input checked="" type="checkbox"/>
ALA_F2	varchar(50)	<input checked="" type="checkbox"/>
ALA_F3	varchar(50)	<input checked="" type="checkbox"/>
ALA_F4	varchar(50)	<input checked="" type="checkbox"/>
HORA_F1	varchar(50)	<input checked="" type="checkbox"/>
HORA_F2	varchar(50)	<input checked="" type="checkbox"/>
HORA_F3	varchar(50)	<input checked="" type="checkbox"/>
HORA_F4	varchar(50)	<input checked="" type="checkbox"/>
FECHA_F1	varchar(50)	<input checked="" type="checkbox"/>
FECHA_F2	varchar(50)	<input checked="" type="checkbox"/>
FECHA_F3	varchar(50)	<input checked="" type="checkbox"/>
FECHA_F4	varchar(50)	<input checked="" type="checkbox"/>

Figura 122. Tabla de base de datos ALARMAS_FUGAS del sistema Caza Lagarto – El Colorado

- ii. Tabla 2, ALARMAS_NIVEL: Esta tabla es usada para guardar los datos de alarma de nivel de los tanques Mocochoal y Río de Oro tanto para nivel superior como inferior, además de conocer el estado de la alarma también se puede conocer la hora y fecha en la que se ocasionó el estado, la Figura 123 presenta la tabla desarrollada destacando los campos como columnas y sus tipos de datos.

Column Name	Data Type	Allow Nulls
ALA_MC_LAL	varchar(50)	<input checked="" type="checkbox"/>
ALA_MC_LAH	varchar(50)	<input checked="" type="checkbox"/>
ALA_RO_LAL	varchar(50)	<input checked="" type="checkbox"/>
ALA_RO_LAH	varchar(50)	<input checked="" type="checkbox"/>
ALA_CL_LEV	varchar(50)	<input checked="" type="checkbox"/>
HORA_MCLAL	varchar(50)	<input checked="" type="checkbox"/>
HORA_MCLAH	varchar(50)	<input checked="" type="checkbox"/>
HORA_ROLAL	varchar(50)	<input checked="" type="checkbox"/>
HORA_ROLAH	varchar(50)	<input checked="" type="checkbox"/>
HORA_CVLEV	varchar(50)	<input checked="" type="checkbox"/>
FECHA_MCLAL	varchar(50)	<input checked="" type="checkbox"/>
FECHA_MCLAH	varchar(50)	<input checked="" type="checkbox"/>
FECHA_ROLAL	varchar(50)	<input checked="" type="checkbox"/>
FECHA_ROLAH	varchar(50)	<input checked="" type="checkbox"/>
FECHA_CLLEV	varchar(50)	<input checked="" type="checkbox"/>

Figura 123. Tabla de base de datos ALARMAS_NIVEL del sistema Caza Lagarto – El Colorado

- iii. Tabla 3, ALARMAS_TEMPERATURAS: Esta tabla es usada para guardar los datos de alarma de temperaturas altas en los motores eléctricos de cada bomba presente en las estaciones de bombeo, además de conocer el estado de la alarma también se puede conocer la hora y fecha en la que se ocasionó la alarma, la Figura 124 presenta la tabla desarrollada destacando los campos como columnas y sus tipos de datos.

Column Name	Data Type	Allow Nulls
ALA_CLT1	varchar(50)	<input checked="" type="checkbox"/>
ALA_CLT2	varchar(50)	<input checked="" type="checkbox"/>
ALA_CLT3	varchar(50)	<input checked="" type="checkbox"/>
ALA_ROT1	varchar(50)	<input checked="" type="checkbox"/>
ALA_ROT2	varchar(50)	<input checked="" type="checkbox"/>
HORA_CLT1	varchar(50)	<input checked="" type="checkbox"/>
HORA_CLT2	varchar(50)	<input checked="" type="checkbox"/>
HORA_CLT3	varchar(50)	<input checked="" type="checkbox"/>
HORA_ROT1	varchar(50)	<input checked="" type="checkbox"/>
HORA_ROT2	varchar(50)	<input checked="" type="checkbox"/>
FECHA_CLT1	varchar(50)	<input checked="" type="checkbox"/>
FECHA_CLT2	varchar(50)	<input checked="" type="checkbox"/>
FECHA_CLT3	varchar(50)	<input checked="" type="checkbox"/>
FECHA_ROT1	varchar(50)	<input checked="" type="checkbox"/>
FECHA_ROT2	varchar(50)	<input checked="" type="checkbox"/>

Figura 124. Tabla de base de datos ALARMAS_TEMPERATURAS del sistema Caza Lagarto – El Colorado

- iv. Tabla 4, DATOS_CAUDAL: Esta tabla es usada para guardar los datos de caudal tomados por cada sensor instalado en la línea de conducción, además de conocer el valor de esta magnitud también se puede conocer la hora y fecha en la que se tomó el dato, la Figura 125 presenta la tabla desarrollada destacando los campos como columnas y sus tipos de datos.

Column Name	Data Type	Allow Nulls
▶ CAUDAL_CL	real	<input checked="" type="checkbox"/>
CAUDAL_MC	real	<input checked="" type="checkbox"/>
CAUDAL_LB1	real	<input checked="" type="checkbox"/>
CAUDAL_LB2	real	<input checked="" type="checkbox"/>
CAUDAL_RO1	real	<input checked="" type="checkbox"/>
CAUDAL_RO2	real	<input checked="" type="checkbox"/>
CAUDAL_LP	real	<input checked="" type="checkbox"/>
CAUDAL_COL	real	<input checked="" type="checkbox"/>
CAU_CL_TIME	smalldatetime	<input checked="" type="checkbox"/>
CAU_MC_TIME	smalldatetime	<input checked="" type="checkbox"/>
CAU_LB1_TIME	smalldatetime	<input checked="" type="checkbox"/>
CAU_LB2_TIME	smalldatetime	<input checked="" type="checkbox"/>
CAU_RO1_TIME	smalldatetime	<input checked="" type="checkbox"/>
CAU_RO2_TIME	smalldatetime	<input checked="" type="checkbox"/>
CAU_LP_TIME	smalldatetime	<input checked="" type="checkbox"/>
CAU_COL_TIME	smalldatetime	<input checked="" type="checkbox"/>

Figura 125. Tabla de base de datos DATOS_CAUDAL del sistema Caza Lagarto – El Colorado

- Comunicación InTouch – SQL: para la comunicación de la base de datos y la interfaz se usa la conectividad ODBC desde localhost conectando la base de datos mediante el driver creado llamado DB_CAZA_COL con la interfaz de InTouch, la Figura 126 muestra las características de esta conexión.

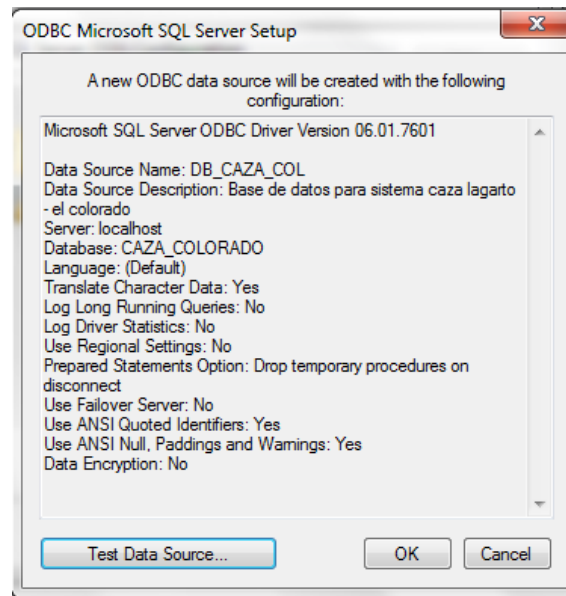


Figura 126. Configuración de conectividad ODBC para el sistema Caza Lagarto
- El Colorado

- Control de la base de datos: Dentro del Script de la aplicación de InTouch se desarrolla la programación del control de la base de datos usando comandos de SQL y conocidos para un Script, además de escribir las sentencias se debe crear una lista llamada BindList, la cual permite asociar los Tags de la interfaz con las columnas creadas en la base de datos.
 - i. BindList para base de datos del sistema: para el diseño de la base de datos es necesario crear esta lista, se asocia las columnas de las tablas de la base de datos ALARMAS_FUGAS, ALARMAS_NIVEL, ALARMAS_TEMPERATURA y DATOS_CAUDAL. Los nombres para estas listas son: CAUDAL, FUGAS, NIVEL y TEMPERATURA, la Figuras 127, 128, 129 y 130 muestran las BindList para cada tabla respectivamente.

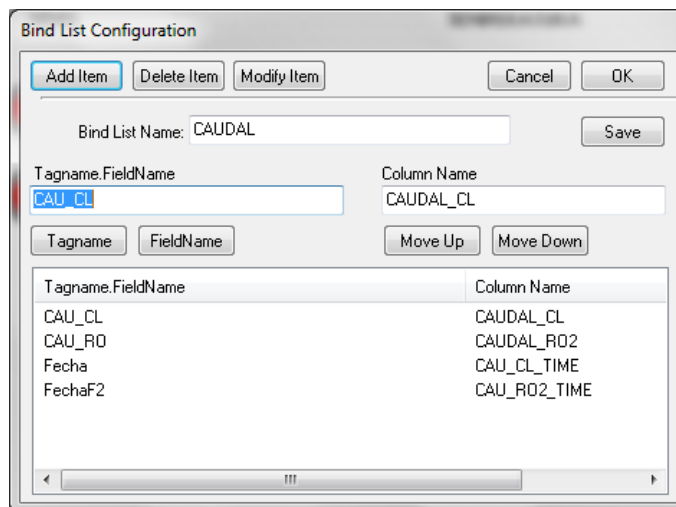


Figura 127. BindList CAUDAL para asociación de tags con la tabla DATOS_CAUDAL, Caza Lagarto – El Colorado

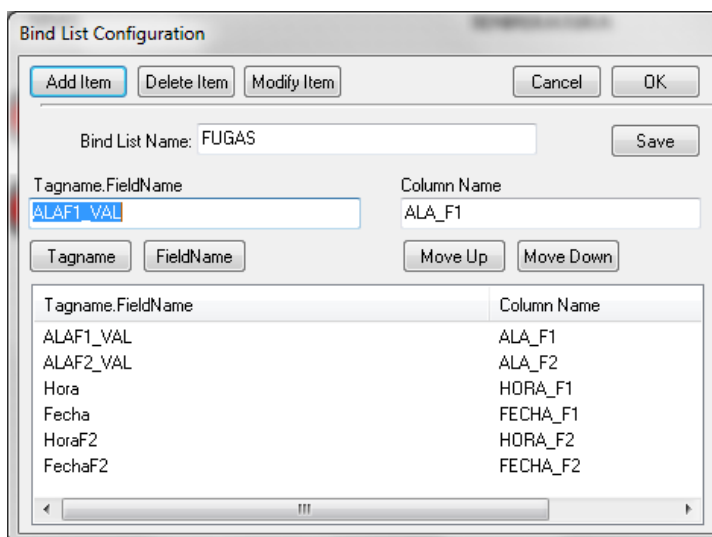


Figura 128. BindList FUGAS para asociación de tags con la tabla ALARMAS_FUGAS, Caza Lagarto – El Colorado

Bind List Configuration

Add Item Delete Item Modify Item Cancel OK

Bind List Name: NIVEL Save

Tagname.FieldName Column Name

MC_LAH_VAL ALA_MC_LAH

Tagname FieldName Move Up Move Down

Tagname.FieldName	Column Name
MC_LAH_VAL	ALA_MC_LAH
MC_LAL_VAL	ALA_MC_LAL
Hora	HORA_MCLAL
Fecha	FECHA_MCLAL
HoraF2	HORA_MCLAH
FechaF2	FECHA_MCLAH

Figura 129. BindList NIVEL para asociación de tags con la tabla ALARMAS_NIVEL, Caza Lagarto – El Colorado

Bind List Configuration

Add Item Delete Item Modify Item Cancel OK

Bind List Name: TEMPERATURA Save

Tagname.FieldName Column Name

ROT1_VAL ALA_ROT1

Tagname FieldName Move Up Move Down

Tagname.FieldName	Column Name
ROT1_VAL	ALA_ROT1
ROT2_VAL	ALA_ROT2
Hora	HORA_ROT1
Fecha	FECHA_ROT1
HoraF2	HORA_ROT2
FechaF2	FECHA_ROT2

Figura 130. BindList TEMPERATURA para asociación de tags con la tabla ALARMAS_TEMPERATURAS, Caza Lagarto – El Colorado

ii. Desarrollo de Script para el control de la base de datos: Las sentencias escritas son para el ingreso de datos en cada columna y se probó los ejemplos para:

- Fuga en el tramo Mocochal – Loma Blanca.
- Fuga en el tramo Loma Blanca – Río de Oro.
- Alarma de nivel superior en tanque Mocochal.
- Alarma de nivel inferior en tanque Mocochal.
- Alarma de Temperatura en Río de Oro, bomba 1.
- Alarma de Temperatura Río de Oro, bomba 2.
- Caudal de Impulsión en Caza Lagarto.
- Caudal de Impulsión en Río de Oro.
- Hora y Fecha para cada alarma y condición presentada.

La Figura 131 muestra el Script desarrollado para la interfaz y el control de la base de datos.

```

DIM ResultCode AS INTEGER;
ResultCode = SQLConnect( tesis1, Connection_String );
IF ResultCode <> 0 THEN
    ErrorMsg = "no vale";
ELSE
    ErrorMsg="si vale";
ENDIF;

Hora = $TimeString;
Fecha = $DateString;
HoraF2 = $TimeString;
FechaF2 = $DateString;

ResultCode = SQLInsert( tesis1, "DATOS_CAUDAL", "CAUDAL" );
IF ALA_F1 THEN
    ALAF1_VAL = "Fuga en Tramo Mocochal - Loma Blanca";
    ResultCode = SQLInsert( tesis1, "ALARMAS_FUGAS", "FUGAS" );
ELSE
    ALAF1_VAL = "";
ENDIF;

IF ALA_FUGA2 THEN
    ALAF2_VAL = "Fuga en el Tramo Loma Blanca - Rio de Oro";
    ResultCode = SQLInsert( tesis1, "ALARMAS_FUGAS", "FUGAS" );
ELSE
    ALAF2_VAL = "";
ENDIF;

IF MC_LAL THEN
    MC_LAL_VAL = "Nivel inferior a 0.6 m";
    ResultCode = SQLInsert( tesis1, "ALARMAS_NIVEL", "NIVEL" );
ELSE
    MC_LAL_VAL = "";
ENDIF;

IF MC_LAH THEN
    MC_LAH_VAL = "Nivel superior a 4.6 m";
    ResultCode = SQLInsert( tesis1, "ALARMAS_NIVEL", "NIVEL" );
ELSE
    MC_LAH_VAL = "";
ENDIF;

IF ALA_ROT1 THEN
    ROT1_VAL = "Temperatura de bomba 1 superior a 200 C";
    ResultCode = SQLInsert( tesis1, "ALARMAS_TEMPERATURAS", "TEMPERATURA" );
ELSE
    ROT1_VAL = "";
ENDIF;

IF ALA_ROT2 THEN
    ROT2_VAL = "Temperatura de bomba 2 superior a 200 C";
    ResultCode = SQLInsert( tesis1, "ALARMAS_TEMPERATURAS", "TEMPERATURA" );
ELSE
    ROT2_VAL = "";
ENDIF;

```

Figura 131. Script para control de base de datos del sistema Caza Lagarto - El Colorado

- **Desarrollo de base de datos para el sistema El Ceibal – Azúa.**

- Tablas de la base de datos creadas en SQL Server: La base de datos para este sistema tiene el nombre de CEIBAL_AZÚA, la cual está alojada en el servidor local o llamado localhost y posee las siguientes tablas que cuentan con la siguiente configuración.
 - Tabla 1, ALARMAS_FUGAS: Esta tabla es usada para guardar los datos de alarma para la posibles fugas en la línea de conducción, además de conocer el estado de la alarma también se puede conocer la hora y fecha en la que se ocasionó la fuga, la Figura 132 presenta la tabla desarrollada destacando los campos como columnas y sus tipos de datos.

	Column Name	Data Type	Allow Nulls
▶	ALA_F1	varchar(50)	<input checked="" type="checkbox"/>
	ALA_F2	varchar(50)	<input checked="" type="checkbox"/>
	HORA_ALAF1	varchar(50)	<input checked="" type="checkbox"/>
	HORA_ALAF2	varchar(50)	<input checked="" type="checkbox"/>
	FECHA_ALAF1	varchar(50)	<input checked="" type="checkbox"/>
	FECHA_ALAF2	varchar(50)	<input checked="" type="checkbox"/>
			<input type="checkbox"/>

Figura 132. Tabla de base de datos ALARMAS_FUGAS del sistema El Ceibal – Azúa

Elaborado por: Autor del Proyecto.

- Tabla 2, ALARMAS_NIVEL: Esta tabla es usada para guardar los datos de alarma de nivel de los tanques El Ceibal, Cruz Verde e Intermedio, tanto para nivel superior como inferior, además de conocer el estado de la alarma también se puede conocer la hora y fecha en la que se ocasionó el estado, la Figura 133 presenta la tabla desarrollada destacando los campos como columnas y sus tipos de datos.

	Column Name	Data Type	Allow Nulls
▶	ALA_ECE_LALCV	varchar(50)	<input checked="" type="checkbox"/>
	ALA_ECE_LAH	varchar(50)	<input checked="" type="checkbox"/>
	ALA_CV_LAL	varchar(50)	<input checked="" type="checkbox"/>
	ALA_CV_LAH	varchar(50)	<input checked="" type="checkbox"/>
	ALA_INT_LAL	varchar(50)	<input checked="" type="checkbox"/>
	ALA_INT_LAH	varchar(50)	<input checked="" type="checkbox"/>
	HORA_ECELAL	varchar(50)	<input checked="" type="checkbox"/>
	HORA_ECELAH	varchar(50)	<input checked="" type="checkbox"/>
	HORA_CVLAL	varchar(50)	<input checked="" type="checkbox"/>
	HORA_CVLAH	varchar(50)	<input checked="" type="checkbox"/>
	HORA_INTLAL	varchar(50)	<input checked="" type="checkbox"/>
	HORA_INTLAH	varchar(50)	<input checked="" type="checkbox"/>
	FECHA_ECELAL	varchar(50)	<input checked="" type="checkbox"/>
	FECHA_ECELAH	varchar(50)	<input checked="" type="checkbox"/>
	FECHA_CVLAL	varchar(50)	<input checked="" type="checkbox"/>
	FECHA_CVLAH	varchar(50)	<input checked="" type="checkbox"/>
	FECHA_INTLAL	varchar(50)	<input checked="" type="checkbox"/>
	FECHA_INTLAH	varchar(50)	<input checked="" type="checkbox"/>

Figura 133. Tabla de base de datos ALARMAS_NIVEL del sistema El Ceibal – Azúa

- iii. Tabla 3, ALARMAS_TEMPERATURAS: Esta tabla es usada para guardar los datos de alarma de temperaturas altas en los motores eléctricos de cada bomba presente en la estación de bombeo El Ceibal, además de conocer el estado de la alarma también se puede conocer la hora y fecha en la que se ocasionó la alarma, la Figura 134 presenta la tabla desarrollada destacando los campos como columnas y sus tipos de datos.

	Column Name	Data Type	Allow Nulls
▶	ALA_ECET1	varchar(50)	<input checked="" type="checkbox"/>
	ALA_ECET2	varchar(50)	<input checked="" type="checkbox"/>
	ALA_ECET3	varchar(50)	<input checked="" type="checkbox"/>
	ALA_ECET4	varchar(50)	<input checked="" type="checkbox"/>
	HORA_ECET1	varchar(50)	<input checked="" type="checkbox"/>
	HORA_ECET2	varchar(50)	<input checked="" type="checkbox"/>
	HORA_ECET3	varchar(50)	<input checked="" type="checkbox"/>
	HORA_ECET4	varchar(50)	<input checked="" type="checkbox"/>
	FECHA_ECET1	varchar(50)	<input checked="" type="checkbox"/>
	FECHA_ECET2	varchar(50)	<input checked="" type="checkbox"/>
	FECHA_ECET3	varchar(50)	<input checked="" type="checkbox"/>
	FECHA_ECET4	varchar(50)	<input checked="" type="checkbox"/>

Figura 134. Tabla de base de datos ALARMAS_TEMPERATURAS del sistema El Ceibal – Azúa

- iv. Tabla 4, DATOS_CAUDAL: Esta tabla es usada para guardar los datos de caudal tomados por cada sensor instalado en la línea de conducción, además de conocer el valor de esta magnitud también se puede conocer la hora y fecha en la que se tomó el dato, la Figura 135 presenta la tabla desarrollada destacando los campos como columnas y sus tipos de datos.

Column Name	Data Type	Allow Nulls
CAUDAL_ECE	varchar(50)	<input checked="" type="checkbox"/>
CAUDAL_CV	varchar(50)	<input checked="" type="checkbox"/>
CAUDAL_INT1	varchar(50)	<input checked="" type="checkbox"/>
CAUDAL_INT2	varchar(50)	<input checked="" type="checkbox"/>
CAUDAL_AZ	varbinary(50)	<input checked="" type="checkbox"/>
CAU_ECE_TIME	smalldatetime	<input checked="" type="checkbox"/>
CAU_CV_TIME	smalldatetime	<input checked="" type="checkbox"/>
CAU_INT1_TIME	smalldatetime	<input checked="" type="checkbox"/>
CAU_INT2_TIME	smalldatetime	<input checked="" type="checkbox"/>
CAU_AZ_TIME	smalldatetime	<input checked="" type="checkbox"/>

Figura 135. Tabla de base de datos DATOS_CAUDAL del sistema El Ceibal – Azúa

- Comunicación InTouch – SQL: para la comunicación de la base de datos y la interfaz se usa la conectividad ODBC desde localhost conectando la base de datos mediante el driver creado llamado DB_CEIBAL_AZÚA con la interfaz de InTouch, la Figura 136 muestra las características de esta conexión.

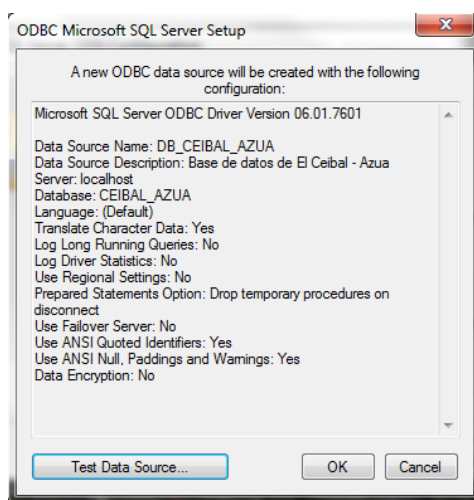


Figura 136. Configuración de conectividad ODBC para el sistema El Ceibal – Azúa

- Control de la base de datos: Dentro del Script de la aplicación de InTouch se desarrolla la programación del control de la base de datos usando comandos de SQL y conocidos para un Script, además de escribir las sentencias se debe crear una lista llamada BindList, la cual permite asociar los Tags de la interfaz con las columnas creadas en la base de datos.
- i. BindList para base de datos del sistema: para el diseño de la base de datos es necesario crear esta lista, se asocia las columnas de las tablas de la base de datos ALARMAS_FUGAS, ALARMAS_NIVEL, ALARMAS_TEMPERATURA y DATOS_CAUDAL. Los nombres para estas listas son: CAUDAL, FUGAS, NIVEL y TEMPERATURA, la Figuras 137, 138, 139 y 140 muestran las BindList para cada tabla respectivamente.

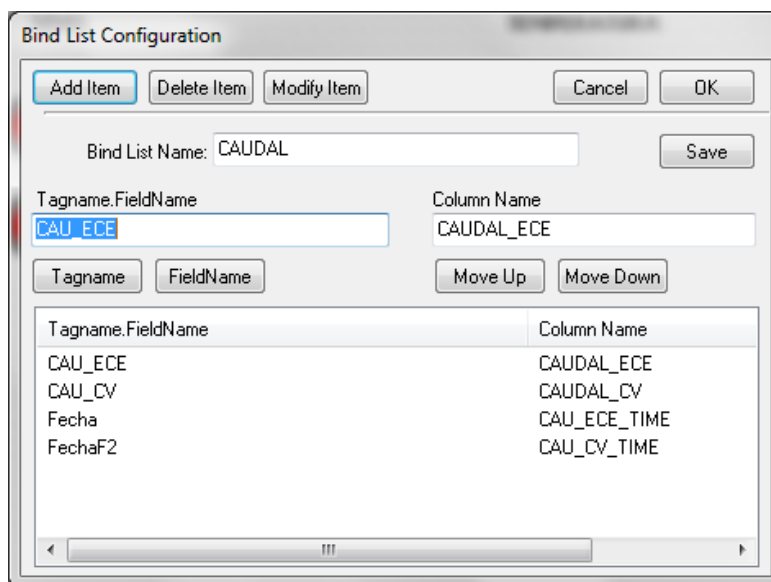


Figura 137. BindList CAUDAL para asociación de tags con la tabla DATOS_CAUDAL, El Ceibal – Azúa

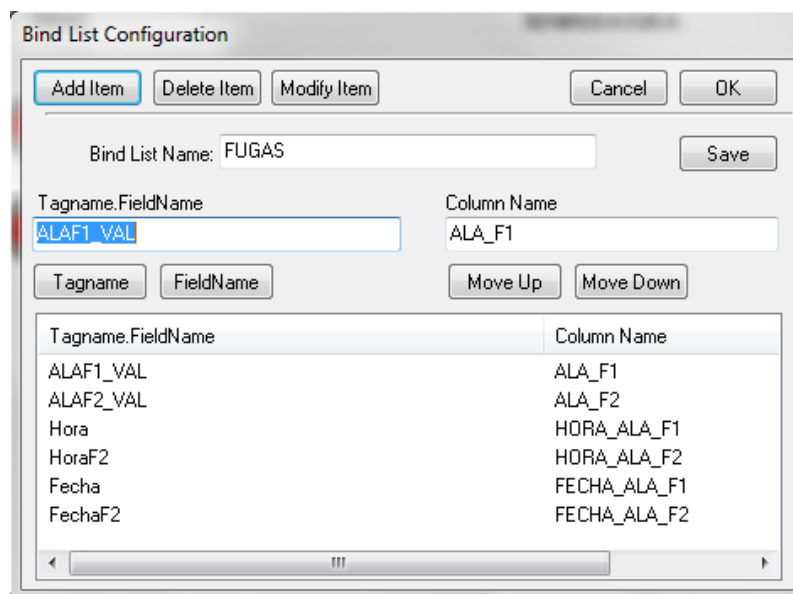


Figura 138. BindList FUGAS para asociación de tags con la tabla ALARMAS_FUGAS, El Ceibal – Azúa

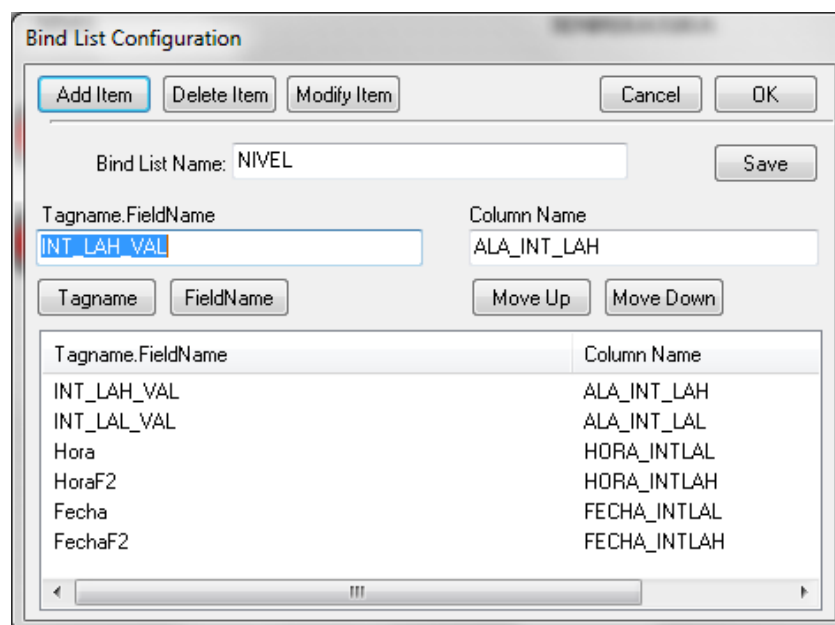


Figura 139. BindList NIVEL para asociación de tags con la tabla ALARMAS_NIVEL, El Ceibal – Azúa

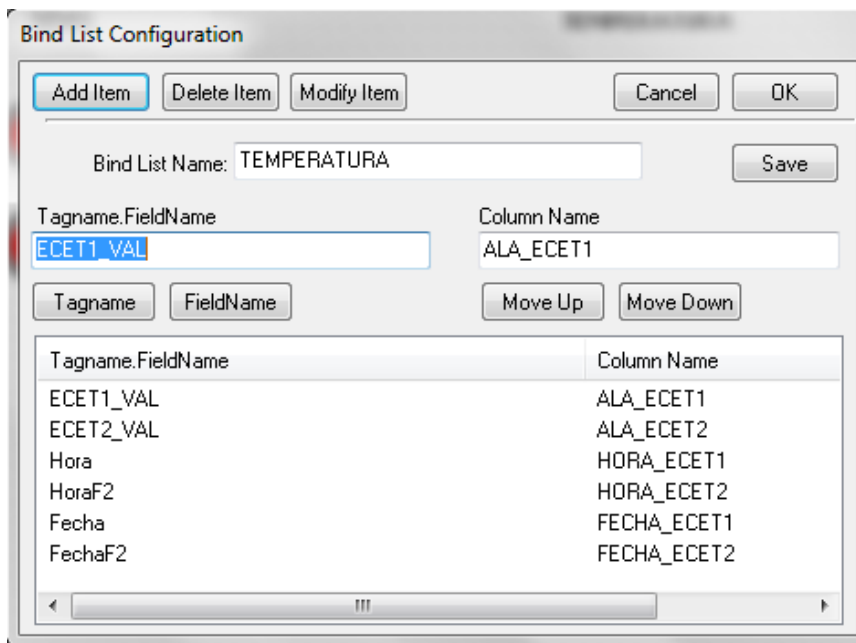


Figura 140. BindList TEMPERATURA para asociación de tags con la tabla ALARMAS_TEMPERATURA, El Ceibal – Azúa

- ii. Desarrollo de Script para el control de la base de datos: Las sentencias escritas son para el ingreso de datos en cada columna y se probó los ejemplos para:
- Fuga en el tramo Cruz Verde – Intermedio.
 - Fuga en el tramo Intermedio – Azúa.
 - Alarma de nivel superior en tanque Intermedio.
 - Alarma de nivel inferior en tanque Intermedio.
 - Alarma de Temperatura en Ceibal, bomba 1.
 - Alarma de Temperatura Ceibal, bomba 2.
 - Caudal de Impulsión en Ceibal.
 - Caudal de Impulsión en Cruz Verde.
 - Hora y Fecha para cada alarma y condición presentada.

La Figura 141 muestra el Script desarrollado para la interfaz y el control de la base de datos.

```

Connection_String = "DSN=DB_CEIBAL_AZUA; UID = Gino; PWD = acdcamino";
tesis2 = 2045;

DIM ResultCode AS INTEGER;

ResultCode = SQLConnect( tesis2, Connection_String );

IF ResultCode <> 0 THEN
    ErrorMsg = "no vale";
ELSE
    ErrorMsg="si vale";
ENDIF;

Hora = $TimeString;
Fecha = $DateString;
HoraF2 = $TimeString;
FechaF2 = $DateString;

ResultCode = SQLInsert( tesis2, "DATOS_CAUDAL", "CAUDAL" );

IF ALA_F1 THEN
    ALAF1_VAL = "Fuga en Tramo Cruz Verde - Intermedio";
    ResultCode = SQLInsert( tesis2, "ALARMAS_FUGAS", "FUGAS" );
ELSE
    ALAF1_VAL = "";
ENDIF;

IF ALA_F2 THEN
    ALAF2_VAL = "Fuga en el Tramo Intermedio - Azua";
    ResultCode = SQLInsert( tesis2, "ALARMAS_FUGAS", "FUGAS" );
ELSE
    ALAF2_VAL = "";
ENDIF;

IF INT_LAL THEN
    INT_LAL_VAL = "Nivel inferior a 0.6 m";
    ResultCode = SQLInsert( tesis2, "ALARMAS_NIVEL", "NIVEL" );
ELSE
    INT_LAL_VAL = "";
ENDIF;

IF INT_LAH THEN
    INT_LAH_VAL = "Nivel superior a 4.6 m";
    ResultCode = SQLInsert( tesis2, "ALARMAS_NIVEL", "NIVEL" );
ELSE
    INT_LAH_VAL = "";
ENDIF;

IF ALA_ECET1 THEN
    ECET1_VAL = "Temperatura de bomba 1 superior a 155 C";
    ResultCode = SQLInsert( tesis2, "ALARMAS_TEMPERATURA", "TEMPERATURA" );
ELSE
    ECET1_VAL = "";
ENDIF;

IF ALA_ECET2 THEN
    ECET2_VAL = "Temperatura de bomba 2 superior a 155 C";
    ResultCode = SQLInsert( tesis2, "ALARMAS_TEMPERATURA", "TEMPERATURA" );
ELSE
    ECET2_VAL = "";
ENDIF;

```

Figura 141. Script para control de base de datos del sistema El Ceibal – Azúa

4.3.6. Diseño de red de controladores y operación integrada.

La operación del sistema de automatización para la conducción de aguas se la debe realizar de manera que se cumpla los siguientes puntos.

- i. Operación integrada del sistema, el control de los procesos será comandando por una estación central o maestra.
- ii. Se debe operar y monitorear desde cualquier punto presente en la red de comunicación.
- iii. Transporte de información entre cualquier estación o punto presente en la línea de conducción.

Basándose en estos requerimientos se plantea y se desarrolla la red de controladores para el sistema de automatización. La lógica o filosofía de red para este proyecto será Maestro – Esclavo o Central – Secundaria, lo cual permite configurar una comunicación del tipo punto – multipunto asegurando que la estación Maestra o Central sea la que

controla toda la configuración u operación de las demás estaciones esclavas de tal manera que sea la estación maestra la encargada de solicitar y transferir toda la información desde y hacia las estaciones esclavas las cuales nunca inician la transmisión por si solas.

Se puede analizar unas ventajas y desventajas con respecto al uso de la filosofía Maestro – Esclavo.

Como ventajas se tiene lo siguiente:

- i. El software para la comunicación entre controladores es fácil de desarrollar debido a que existe una mayor simplicidad en este tipo de lógica de comunicación.
- ii. El fallo o caída de la comunicación entre nodos de la red se puede detectar rápidamente.
- iii. Las colisiones de comunicación son muy poco probable de que existan.

Mientras que como desventaja se tiene lo siguiente.

- i. Variaciones en los requerimientos de transferencia de datos no pueden ser manejadas
- ii. Peticiones de interrupción solicitadas por un esclavo como acciones urgentes no pueden ser manejadas.
- iii. El diseño de la estación maestra es más complicada dependiendo del número de estaciones esclavas.

La estación maestra será la única encargada del control de fugas, esta llevara la lógica de control presentada diseñada en la sección de Ingeniería de Detalle para sistema de control parte de control de fugas y control de operación integrada, de igual manera será la encargada de las funciones de intercambio de información, por lo tanto a continuación se presenta el diseño de esta.

La red de control será basada en Ethernet Industrial, por lo tanto el primer paso es crear el driver de comunicación que permita agregar a todos los PLC dentro de una red. Dentro del software de Rockwell RSLinx se realiza los siguientes pasos una vez que todas las computadoras y controladores se encuentren en la red de comunicación diseñada en la sección de ingeniería de detalle para sistema de comunicación. Los PLC seleccionados tienen la capacidad de transmitir datos y tags entre controladores mediante una red Ethernet IP usando Tags de tipo Producidos y Consumidos los cuales trabajan de la siguiente forma.

Los tags Producidos son tags que el controlador habilita y hace posible que sea usado por otros controladores, varios controladores de manera simultánea pueden consumir este dato o tag. Un Tag producido es enviado a uno o más controladores sin necesidad de implementar una lógica. El tag que recibe el tag producido es llamado Consumido. El tipo de dato consumido debe ser el mismo que el del producido coincidiendo en el caso de ser un arreglo su dimensión.

Los tipos de datos soportados por la operación Productor – Consumidor son DINT, REAL, ARRAY OF DINT/REAL. Tomando en cuenta que el tamaño máximo del tag debe ser de 500 bytes considerando las limitaciones de ancho de banda de una red de control Ethernet/IP y el tiempo de actualización de la red NUT, la Figura 142 muestra la manera en que los controladores comparten la información con tags de tipo Producidos y Consumidos.

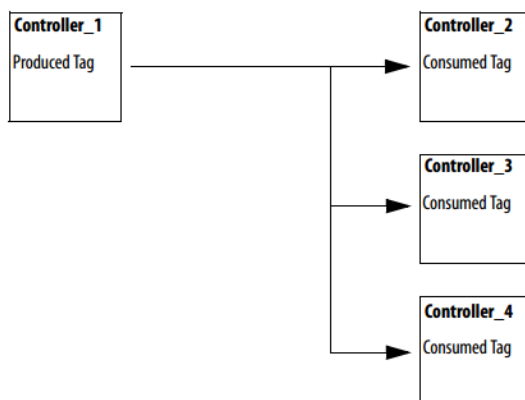


Figura 142. Transmisión y recepción de datos del tipo Productor – Consumidor

Fuente: (Rockwell, 2011).

Una vez entendido las principales propiedades y características de esta filosofía se desarrolla el diseño de la red de controladores para el sistema de cada acueducto.

- **Red de controladores para el acueducto Caza Lagarto – El Colorado.**

Para la red de dispositivos de control de este sistema se tiene que las estaciones esclavas son: Caza Lagarto, Mocochoal, Loma Blanca, Río de Oro, Las Palmas y Colorado. Mientras que la estación maestra será programada en el controlador de la estación Caza Lagarto debido a los siguientes puntos.

- Al ser el punto inicial de impulsión de agua y a su vez encargada de la captación, en el caso de existir fugas en el sistema, Caza Lagarto debe ser la primera en apagar sus bombas evitando el derrame o desperdicio de agua en la conducción de manera inmediata y sin depender de otros sistemas o demás puntos de la conducción.
- Las instalaciones e infraestructura de Caza Lagarto son óptimas para que esta sea la estación maestra contando con todos los requerimientos presentados en análisis anteriores.

Los pasos para el diseño de la red de controladores se describen a continuación.

- i. Mediante el uso de una computadora que se encuentre dentro de la red de comunicación y la cual cuente con RSLinx, dentro del menú Comunicaciones / Configurar Drivers se selecciona EtherNet/IP Driver y se añade uno nuevo con el nombre de RED_CL_COL. Dentro de este driver se podrá visualizar los controladores con las siguientes direcciones IP como se muestra en la Tabla 90.

Tabla 90. Configuración de driver Ethernet para la red de control Caza Lagarto - El Colorado


Driver de comunicación RED_CL_COL		
Estación	Dirección IP	Modulo Ethernet
Caza Lagarto	192.168.0.2	1756-ENBT/A
Mocochal	192.168.5.2	1756-ENBT/A
Loma Blanca	192.168.6.2	1756-ENBT/A
Río de Oro	192.168.1.2	1756-ENBT/A
Las Palmas	192.168.2.2	1756-ENBT/A
El Colorado	192.168.7.2	1756-ENBT/A

- ii. Como se indicó la transferencia de información entre los controladores será por intermedio del uso de tags Consumidos y Producidos los cuales permitirán integrar el control de fugas en el proceso de conducción.

En la sección de Ingeniería de Detalla para Sistema de Control las Figura 106 muestra las variables de cada controlador involucradas en el control de fugas del sistema tanto para Producidas (Escritura) y Consumidas (Lectura), a continuación se presenta la Tabla 91 la cual describe las variables que deben ser configuradas como producidas y consumidas, tomando en cuenta que las variables cuyo nombre empiezan con MC pertenecen al controlador de Mocochal, CL pertenecen al controlador de Caza Lagarto, LB controlador Loma Blanca, RO controlador Río de Oro, COL controlador Colorado.

Tabla 91. Descripción y lista de tags consumidos y producidos para el sistema Caza Lagarto - El Colorado.

Tags consumidos y producidos sistema Caza Lagarto – El Colorado			
Producidos	Consumidos	Tipo	Descripción
MC_CAU	CL_OPR_MCCAU	REAL	Caudal de salida en tanque Mocochal
CL_OPR_MCACT	MC_ACTUADOR	DINT	Activación de válvula descarga en tanque Mocochal
LB_CAU_IN	CL_OPR_LBCAUIN	REAL	Caudal de ingreso en Loma Blanca

Continua 

LB_CAU_OUT	CL_OPR_LB_CAUOUT	REAL	Caudal de Salida en Loma Blanca
RO_CAU_IN	CL_OPR_ROCAUIN	REAL	Caudal de ingreso en Río de Oro
RO_CAU_IMP	CL_OPR_ROCAUIMP	REAL	Caudal de impulsión en Río de Oro
CL_OPR_ROSTOB1	RO_OUT_STOB1	DINT	Botón de paro bomba 1, Río de Oro
CL_OPR_ROSTOB2	RO_OUT_STOB2	DINT	Botón de paro bomba 2, Río de Oro
LP_CAU	CL_OPR_LPCAU	REAL	Caudal presente en Las Palmas
COL_CAU	CL_OPR_COLCAU	REAL	Caudal de llegada a Colorado

Red de controladores para el acueducto El Ceibal – Azúa.

Para la red de dispositivos de control de este sistema se tiene que las estaciones esclavas son: El Ceibal, Cruz Verde, Intermedio, Azúa. Mientras que la estación maestra será programada en el controlador de la estación El Ceibal debido a los siguientes puntos.

- Al ser el punto inicial de impulsión de agua y a su vez encargada del proceso de potabilización, en el caso de existir fugas en el sistema, El Ceibal debe ser la primera en apagar sus bombas evitando el derrame o desperdicio de agua en la conducción de manera inmediata y sin depender de otros sistemas o demás puntos de la conducción.
- Las instalaciones e infraestructura de El Ceibal son óptimas para que esta sea la estación maestra contando con todos los requerimientos presentados en análisis anteriores.

Los pasos para el diseño de la red de controladores se describen a continuación.

- i. Mediante el uso de una computadora que se encuentre dentro de la red de comunicación y la cual cuente con RSLinx, dentro del menú Comunicaciones

/ Configurar Drivers se selecciona EtherNet/IP Driver y se añade uno nuevo con el nombre de RED_ECE_AZ. Dentro de este driver se podrá visualizar los controladores con las siguientes direcciones IP como se muestra en la Tabla 92.

Tabla 92. Configuración de driver Ethernet para la red de control El Ceibal – Azúa

Driver de comunicación RED_CL_COL		
Estación	Dirección IP	Modulo Ethernet
El Ceibal	192.168.4.2	1756-ENBT/A
Cruz Verde	192.168.3.2	1756-ENBT/A
Intermedio	192.168.1.2	1756-ENBT/A
Azúa	192.168.9.2	1756-ENBT/A

- ii. Como se indicó la transferencia de información entre los controladores será por intermedio del uso de tags Consumidos y Producidos los cuales permitirán integrar el control de fugas en el proceso de conducción.

En la sección de Ingeniería de Detalla para Sistema de Control las Figura 107 muestra las variables de cada controlador involucradas en el control de fugas del sistema tanto para Producidas (Escritura) y Consumidas (Lectura), a continuación se presenta la Tabla 93 la cual describe las variables que deben ser configuradas como producidas y consumidas, tomando en cuenta que las variables cuyo nombre empiezan con ECE pertenecen al controlador de El Ceibal, CV pertenecen al controlador de Cruz Verde, INT controlador Intermedio, AZ controlador Azúa.

Tabla 93. Descripción y lista de tags consumidos y producidos para el sistema El Ceibal - Azúa

Tags consumidos y producidos sistema El Ceibal – Azúa			
Producidos	Consumidos	Tipo	Descripción
CV_CAU	ECE_OPR_CVCAU	REAL	Caudal de salida en tanque Cruz Verde
ECE_OPR_CVACT	CV_ACTUADOR	DINT	Activación de válvula descarga en tanque Cruz Verde
INT_CAU_IN	ECE_OPR_INT_CAUIN	REAL	Caudal de ingreso en tanque Intermedio

INT_CAU_DES	ECE_OPR_INT_CAUDES	REAL	Caudal de Salida en tanque Intermedio
ECE_OPR_INTACT	INT_ACTUADOR	DINT	Activación de válvula descarga en tanque Intermedio
AZ_CAU	ECE_OPR_AZCAU	REAL	Caudal de llegada a Azúa

- **Configuración de tags consumidos y producidos (Rockwell, 2011).**

Para crear un Tag Producido se debe seguir los siguientes pasos

- Dentro del programa RSLogix la sección Controller Organizer, para los tag del controlador, se debe ingresar para poder editar los tags como se muestra en la Figura 143 muestra la manera de editar los tags del controlador.

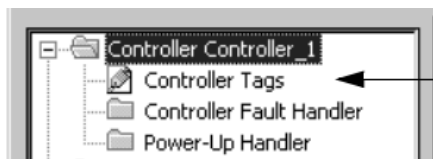


Figura 143. Edición de tags de controlador en programa RSLogix 5000

Fuente: (Rockwell, 2011).

- Dentro de la ventana de Controller Tags, se debe editar las opciones del tag deseado a ser Producido en la opción Edit Properties, esta paso se lo muestra en la Figura 144, dentro de este cuadro se edita el nombre del tag a configurar, en tipo se selecciona Produced, y el tipo de dato según lo necesario puede ser REAL o DINT, mientras que el Scope debe estar siempre orientado a el controlador requerido para que pueda este tag ser leído por los demás controladores.

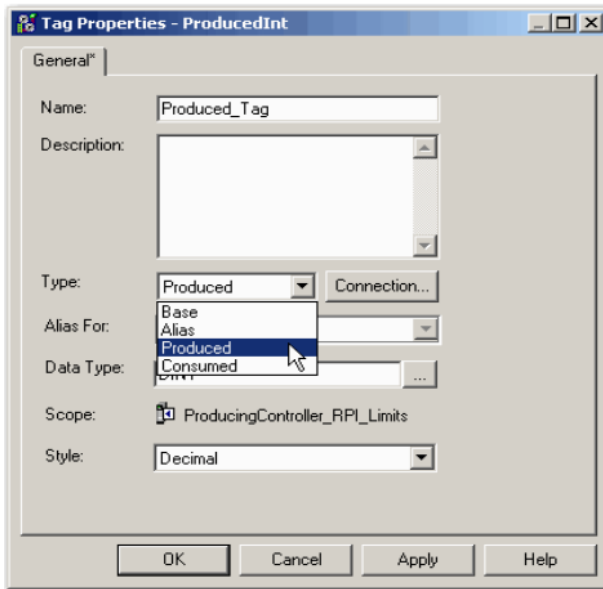


Figura 144. Cuadro de diálogo para configuración de tag como producido

Fuente: (Rockwell, 2011).

- iii. Dentro del menú de Conexión se puede configurar el número máximo de tags Consumidos y para todos los casos de esta aplicación será uno, la Figura 145 muestra este cuadro de diálogo.

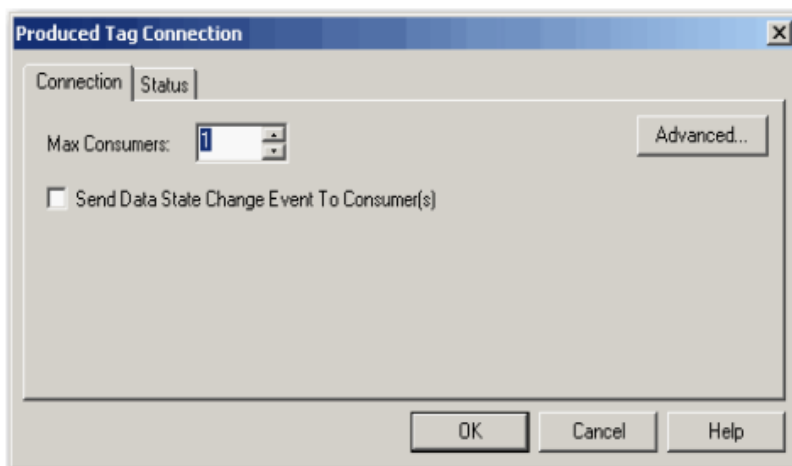


Figura 145. Configuración de conexión para los tag Producidos

Fuente: (Rockwell, 2011).

Para crear un Tag Consumido se debe seguir los siguientes pasos

- i. En el programa RSLogix dentro del proyecto desarrollado, de igual manera como se ingresó a la configuración de tags del controlador en los pasos de tags producidos se debe ingresar ahora, la Figura 143 muestra este paso.
- ii. Dentro de la ventana de Controller Tags, se debe editar las opciones del tag Consumido en la opción Edit Properties, esta paso se lo muestra en la Figura 146, dentro de este cuadro se edita el nombre del tag a configurar, en tipo se selecciona Consumed, y el tipo de dato según lo necesario puede ser REAL o DINT, mientras que el Scope debe estar siempre orientado a el controlador requerido para que pueda este tag ser leído por los demás controladores.

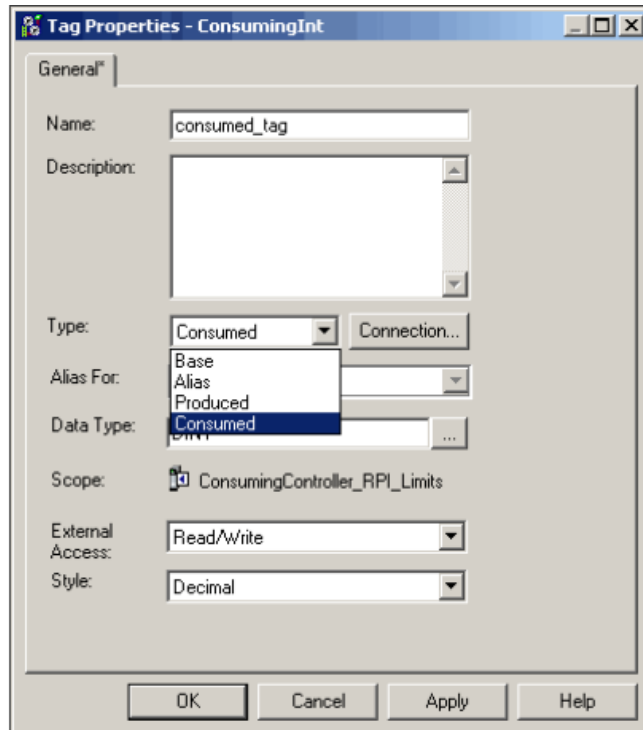


Figura 146. Cuadro de dialogo para configuración de tag como consumido

Fuente: (Rockwell, 2011).

- iii. Dentro del menú de Conexión se puede configurar el controlador que produce el dato al que se quiere asociar, mientras que en la sección de Remote Data se escribe el nombre del tag Producido creado en la sección anterior, por último

el valor de RPI que es el tiempo entre paquetes solicitados o el tiempo de espera para la recepción de un dato puede ser configurado con un valor entre 50 y 200 ms debido a las distancias que existen entre controladores, la Figura 147 muestra este cuadro de diálogo.

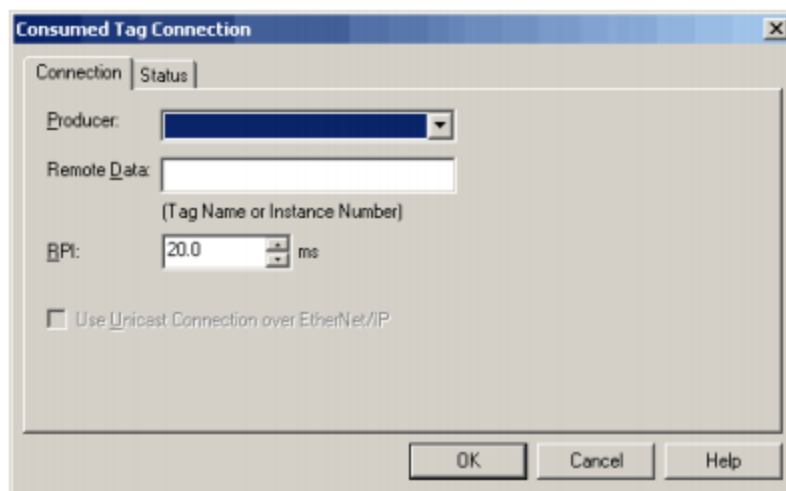


Figura 147. Configuración de conexión para tags Consumidos

Fuente: (Rockwell, 2011).

Completando los pasos presentados para cada tag seleccionado presentado en la Tablas 91 y 93 se puede establecer la transferencia de información entre cada controlador cumpliendo con el objetivo de la integración del control de fugas para cada línea de conducción presentada en este proyecto.

4.4. Ingeniería de detalle para el sistema de comunicación.

El sistema de comunicación debe ser el encargado de transportar los datos e información de cada proceso involucrados en el sistema de conducción de aguas de la EPAM integrando los sub sistemas de Instrumentación, Control y Supervisión para los acueductos El Ceibal – Azúa y Caza Lagarto – El Colorado, al estar repartido

geográficamente por cada uno de los puntos del sistema se ha decidido usar una combinación de tecnologías presentes en una sola plataforma llamada Orbit de MDS perteneciente a la marca General Electric la cual es diseñada para comunicación M2M o Machine to Machine entre puntos distanciados por varios kilómetros de distancia, las características de esta tecnología han sido descritas en el Capítulo 3 sección de sistema de comunicación.

Para la supervisión y monitoreo de todo el proceso de conducción se ha planteado un nuevo punto dentro del sistema ubicado en las oficinas de EPAM dentro de la ciudad de Manta el cual será llamado Centro de Monitoreo, en este punto se replicara la información existente en las estaciones de bombeo El Ceibal y Caza Lagarto logrando que el personal que trabaja en la parte administrativa también pueda conocer los principales datos recopilados por el sistema, sin necesidad de transportarse a las estaciones de bombeo mencionadas.

4.4.1. Propuesta y selección de tecnología y equipos.

La tecnología usada será básicamente inalámbrica, derivándose en dos tipos radio enlace en una banda de 900 MHz y conexión vía internet usando la red celular 3G/4G de las operadores que brindan cobertura en los puntos de la conducción. El análisis de selección de equipos se encuentra en los siguiente puntos, en este punto solo se presenta los modelos seleccionados para operar en cada estación, tanque o interconexión.

- **El Ceibal:** Este punto se encarga de transmitir las acciones de control y recibir la información tomada por Cruz Verde, Intermedio y Azúa, como ya se ha indicado viene a ser la estación maestra por parte del acueducto El Ceibal – Azúa, este punto de la red tendrá comunicación directa con Cruz Verde mediante la red de celular 3G/4G para esto es necesario contar con el siguiente equipo.
 - Orbit MCR MCR-4G: LTE 3G/4G VERIZON, 2 Ethernet, 1 Serial.

- **Cruz Verde:** Este punto dentro de la red es encargado de enviar la información recopilada por los sensores presentes y recibir ciertas acciones de control emitidas por El Ceibal, Cruz Verde debe estar comunicada mediante la red celular 3G/4G, siendo necesario el uso del siguiente equipo.
 - Orbit MCR MCR-4G: LTE 3G/4G VERIZON, 2 Ethernet, 1 Serial.

- **Intermedio:** Este punto dentro de la red es encargado de enviar la información recopilada por los sensores presentes y recibir ciertas acciones de control emitidas por El Ceibal, Intermedio debe estar comunicada mediante la red celular 3G/4G, siendo necesario el uso del siguiente equipo.
 - Orbit MCR MCR-4G: LTE 3G/4G VERIZON, 2 Ethernet, 1 Serial.

- **Azúa:** Este punto dentro de la red solamente está encargado de transmitir información recopilada por el sensor de caudal hacia El Ceibal, por distancia y ubicación geográfica se debe tener un radio enlace con la estación el Colorado mediante el uso de una banda no licenciada de 900 MHz, requiriendo el siguiente equipo.
 - Orbit MCR-900: UNLICENSED 900 MHz, 2 Ethernet, 1 Serial.

- **Caza Lagarto:** Este punto se encarga de transmitir las acciones de control y recibir la información tomada por Mocochoal, Loma Blanca, Rio de Oro, Las Palmas y El Colorado, como ya se ha indicado viene a ser la estación maestra por parte del acueducto Caza Lagarto – El Colorado, este punto de la red tendrá comunicación directa con Mocochoal mediante un radio enlace en la bando no licenciada de 900 MHz.
 - Orbit MCR-900: UNLICENSED 900 MHz, 2 Ethernet, 1 Serial.

- **Mocochal:** Este punto dentro de la red es encargado de enviar la información recopilada por los sensores presentes y recibir ciertas acciones de control emitidas por Caza Lagarto, Mocochal debe estar comunicada con Caza Lagarto y a su vez con Loma Blanca para transmitir la información que viene desde la estación maestra hacia los demás puntos para esto se aplica dos radio enlaces en la banda de 900 MHz para lo cual es necesario el uso de los siguientes equipos.
 - 2 Orbit MCR-900: UNLICENSED 900 MHz, 2 Ethernet, 1 Serial.

- **Loma Blanca:** Este viene a ser un punto muy importante en la red ya que por aquí pasa la información que transmite cada punto de la conducción hacia los demás esto debido a que está ubicada relativamente en el centro geográfico de toda la conducción, se establece una comunicación con Mocochal por intermedio de un radio enlace en banda de 900 MHz, mientras que para conexión con demás puntos se establece un enlace a la red celular 3G/4G, para esto es necesario contar con estos dos equipos.
 - Orbit MCR-900: UNLICENSED 900 MHz, 2 Ethernet, 1 Serial.
 - Orbit MCR MCR-4G: LTE 3G/4G VERIZON, 2 Ethernet, 1 Serial.

- **Rio de Oro:** Este punto dentro de la red es encargado de enviar la información recopilada por los sensores presentes hacia Caza Lagarto se comunica mediante la red celular 3G/4G, siendo necesario el uso del siguiente equipo.
 - Orbit MCR MCR-4G: LTE 3G/4G VERIZON, 2 Ethernet, 1 Serial, Dual SIM.

- **Las Palmas:** Este punto dentro de la red es encargado de enviar la información recopilada por los sensores presentes hacia Caza Lagarto se comunica mediante la red celular 3G/4G, siendo necesario el uso del siguiente equipo.

- Orbit MCR MCR-4G: LTE 3G/4G VERIZON, 2 Ethernet, 1 Serial.
- **El Colorado:** Este punto dentro de la red solamente está encargado de transmitir información recopilada por el sensor de caudal hacia Caza Lagarto, por distancia y ubicación geográfica se debe tener un radio enlace con la estación Azúa y otro enlace con EPAM mediante el uso de una banda no licenciada de 900 MHz, requiriendo los siguientes equipos.
- 2 Orbit MCR-900: UNLICENSED 900 MHz, 2 Ethernet, 1 Serial.
- **EPAM:** Este punto debe replicar la información que adquiere la estación Caza Lagarto y El Ceibal, es decir que las aplicaciones que se ejecutan en esos puntos puedan ser ejecutadas desde dos puntos diferentes de manera independiente, además de administrar las redes de cada estación para establecer conexión entre puntos deseados, para esto es necesario tener conexión a internet y mantener dos enlaces mediante una banda de 900 MHz con Intermedio y Colorado para esto es necesario contar con el siguiente equipo.
- Orbit MCR-900: UNLICENSED 900 MHz, 2 Ethernet, 1 Serial.

Los equipos seleccionados deben poseer las siguientes interfaces.

- Ethernet: 10/100 BaseT, RJ-45.
- Serial: RS-232/RS-485/RJ-45.
- USB: Puerto 2.0.
- Puerto de Antenas: 900 ISM-TNC, WiFi, RP-SMA, Celular-SMA.
- LEDs: PWR, ETH, COM, NIC1, NIC2.

Los equipos de comunicación seleccionados son de dos tipos, la cantidad necesaria para el sistema es de ocho del tipo Orbit MCR-900: UNLICENSED 900 MHz, 2 Ethernet, 1 Serial y cinco del tipo Orbit MCR MCR-4G: LTE 3G/4G VERIZON, 2 Ethernet, 1 Serial. El análisis de características y funcionalidades de los equipos seleccionados se presenta en el Capítulo 3 sección de sistema de comunicación.

Además de los equipos mencionados en ciertos puntos es necesario contar con un switch de comunicación para una red Ethernet, los puntos donde será necesario instalar uno son: EPAM, Colorado, Loma Blanca, Mocochal, Ceibal, Caza Lagarto. El switch seleccionado posee las siguientes características.

El switch seleccionado pertenece a la marca Cisco modelo Cisco IE-3000-8TC el cual posee las siguientes características, estos equipos proveen una infraestructura de conmutación robusta y segura. Siendo adecuados para aplicaciones de Ethernet industrial, incluyendo automatización industrial, transporte inteligente, subestaciones y demás desarrollos en ambientes duros de tipo industrial.

Los switches pueden conectarse a una red de oficina con diferentes dispositivos IP como routers, teléfonos, servidores, etc. Para aplicaciones de ambiente industrial se puede conectar a varios dispositivos con interfaz Ethernet como PLC, HMI, variadores de frecuencia, sensores, semáforos o dispositivos electrónicos inteligentes. La instalación y montaje se lo puede realizar mediante un riel DIN en la pared o dentro de un panel. (Cisco, 2013).

Las principales características de este switch son:

- 8 puertos Ethernet 10/100BASE-T.
- 2 puertos de propósito dual (poseen un puerto activo ya sea para Ethernet capa 10/100/1000 o fibra SFP).
- Puede trabajar con dos módulos de expansión con varias combinaciones.
- Voltaje de entrada 18 VDC – 60 VDC.

- Dos capas LAN

La Figura 148 describe cada una de las partes que posee este Switch Cisco.

1. Conexiones a energía y relé.
2. Puerto de consola.
3. Puertos de propósito dual.
4. Puertos Ethernet 10/100.
5. Conexiones de protección a tierra.

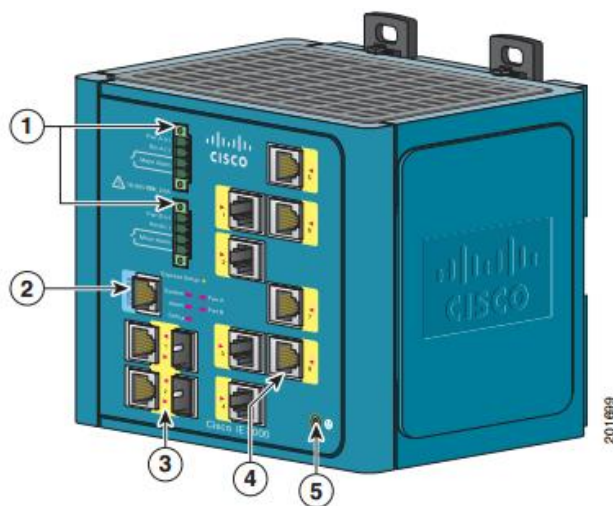


Figura 148. Descripción de partes del switch Cisco-3000-8TC

Fuente: (Cisco, 2013).

4.4.2. Esquema de montaje y ubicación para sistema de comunicación.

Se analiza los puntos de ubicación para cada equipo de comunicación dentro del sistema de conducción de aguas involucrando los acueductos Caza Lagarto – El Colorado y El Ceibal – Azúa, de esta manera se describe lo siguiente.

Por la orografía típica de la Provincia de Manabí, especialmente las zonas comprendidas entre los cantones de Santa Ana, Portoviejo, Rocafuerte, Montecristi, Jaramijó y Manta, donde el acueducto se extiende, provoca que entre los diferentes sitios no exista línea de vista, motivo por el cual pensar en una red completamente privada o propia de la EPAM resulte en costos elevados por la creación de nueva infraestructura y con ello altos tiempos de implementación del proyecto.

La aparición de nuevos equipos y su tendencia a integrar tecnologías como WiFi, Bandas ISM, Celular, Fibra Óptica y otras nos induce a buscar una solución de plataforma de comunicación convergente la cual será analizada en esta parte del proyecto.

La Figura 149 muestra la ubicación de cada punto o estación existente en la línea de conducción los cuales serán parte de la red de comunicación distribuidos en la provincia de Manabí.

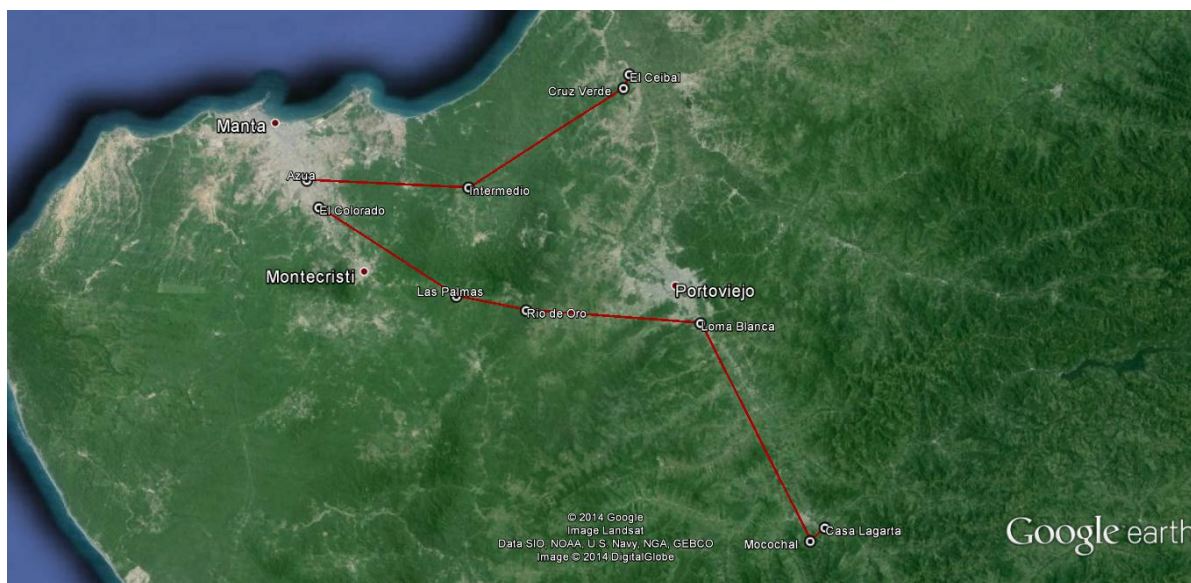


Figura 149: Ubicación y distribución de estaciones involucradas en la red de comunicación.

Fuente: (Google, 2014)

Se analiza cada uno de los sitios a fin de que puedan ser interconectados y proveer una plataforma de comunicación Ethernet robusta y confiable capaz de llevar los datos de

información y control hacia la estación central para ser procesados por el software de monitoreo.

- **Análisis del sistema Caza Lagarto – El Colorado.**

Los sitios que componen la red de este sistema serán los mismos que pertenecen al acueducto en mención y se presenta un pequeño análisis de la función de las mismas.

1. Estación Caza Lagarto: Captación y Bombeo.
2. Tanque Mocochoal: Reservorio y conducción por gravedad.
3. Interconexión Loma Blanca: Conexión y cambio de diámetro en tubería.
4. Estación Río de Oro: Bombeo.
5. Interconexión Las Palmas: Conexión y cambio de diámetro en tubería.
6. Estación El Colorado: Reservorios y Distribución final

La Tabla 94 muestra las coordenadas geográficas así como la altura sobre el nivel del mar para cada punto involucrado en la conducción.

Tabla 94. Ubicación y coordenadas geográficas para cada una de las estaciones de Caza Lagarto - EL Colorado

Sitio	Latitud (Sur)	Longitud (Oeste)	Altura (msnm)
Estación Caza Lagarto	1° 12' 47.4"	80° 21' 27.1"	63.0
Tanque Mocochoal	1° 13' 19.3"	80° 22' 1.3"	285.0
Interconexión Loma Blanca	1° 4' 49.1"	80° 26' 18.1"	44.9
Estación Río de Oro	1° 4' 18.7"	80° 33' 6.7"	159.8
Interconexión Las Palmas	1° 3' 45.8"	80° 35' 49.9"	214.6
Estación El Colorado	1° 0' 17.7"	80° 41' 13.1"	102.0

– **Estación Caza Lagarto.**

Ubicada en la zona rural de la Parroquia Honorato Vázquez del Cantón Santa Ana; cuenta con una cobertura de Servicio Celular y transferencia de datos limitada y de difícil acceso para un portador de servicios de valor agregado público o privado.

En vista de ello es necesario establecer una plataforma de comunicación inalámbrica que permita interconectar este sitio al resto de la Red. Para ello se ha analizado el perfil topográfico hacia la Estación Mocochal, la cual posee una plena línea de vista; haciendo viable el establecimiento de un enlace inalámbrico en banda ISM de 900 MHz con una distancia de 1.44 Km hasta dicho punto como se muestra en la Figura 150, mientras que la Figura 151 muestra el enlace entre estos puntos, el perfil mostrado en este diagrama fue obtenido del programa Radio Mobile.



Figura 150. Ubicación de los puntos Caza Lagarto y Mocochal

Fuente: (Google, 2014)

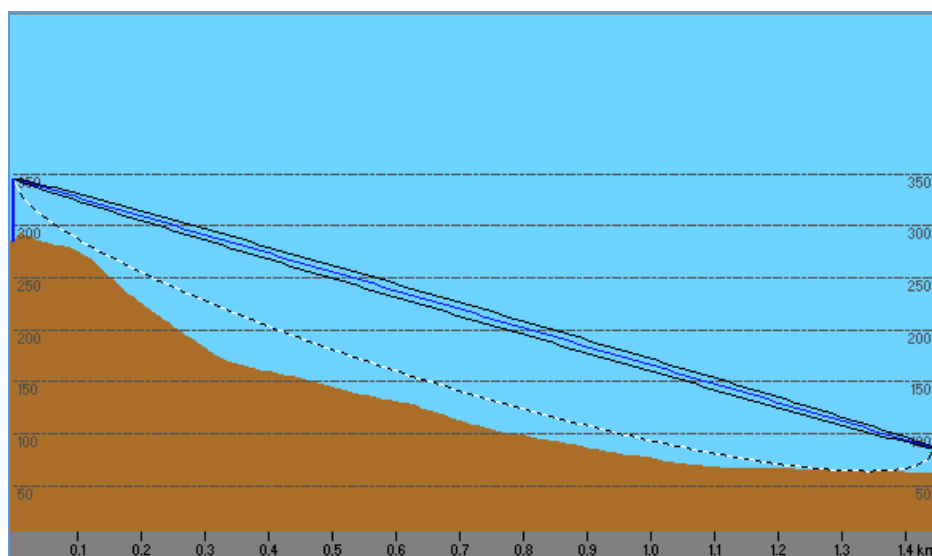


Figura 151. Perfil topográfico para radio enlace entre Mocochal (izquierdo) y Caza Lagarto (derecho), distancia 1.4 Km

– **Tanque Mocochal.**

Punto estratégicamente ubicado sobre el Cerro del mismo nombre, el cual posee plena línea de vista hacia el valle de Portoviejo donde Loma Blanca está ubicada, lo cual posibilita el establecimiento de un enlace inalámbrico de 17.63 Km mostrado en la Figura 152, mientras que la Figura 153 muestra el perfil de este enlace tomado del programa Radio Mobile.

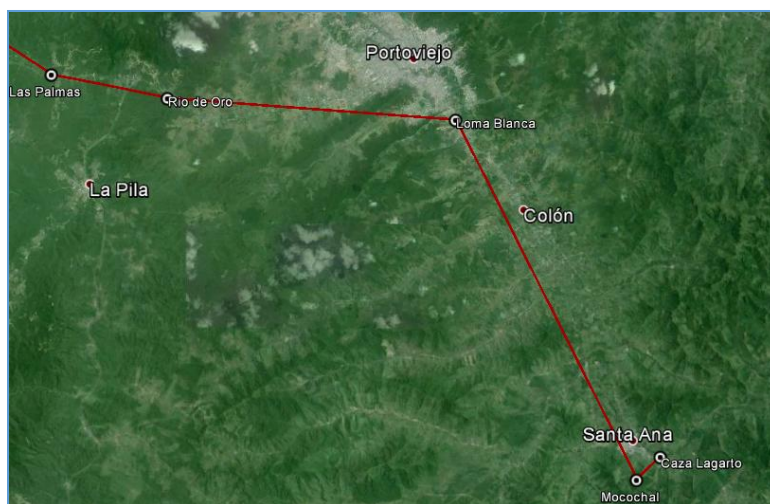


Figura 152. Ubicación de puntos Mocochal y Loma Blanca

Fuente: (Google, 2014)

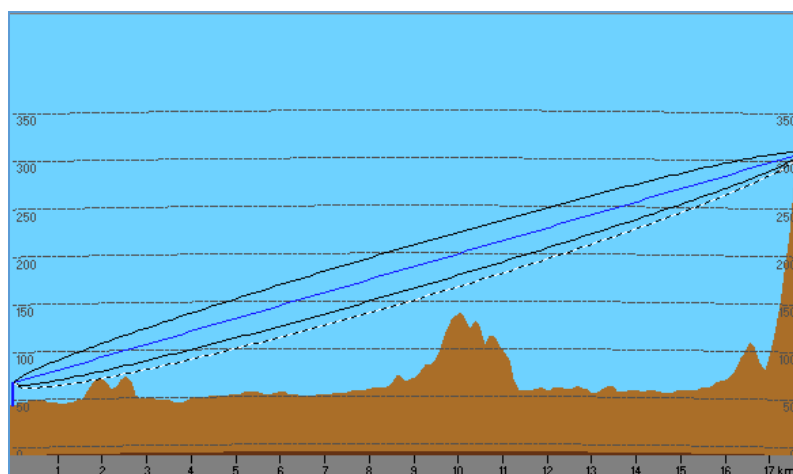


Figura 153. Perfil topográfico para enlace Loma Blanca (izquierda) - Mocochal (Derecha)

– **Interconexión Loma Blanca.**

Ubicada en la parroquia Urbana Andrés de Vera del Cantón Portoviejo con acceso a cualquier plataforma de comunicación pública o privada como servicio de valor agregado tanto a Internet o Portadores, con buena disponibilidad y confiabilidad. Se determinó que este punto no posee línea de vista hacia la siguiente Estación Río de Oro por lo que se imposibilita cualquier posibilidad de un nuevo enlace inalámbrico directo como se muestra en los perfiles de las Figuras 154 y 155 tomados mediante el uso del programa Radio Mobile.

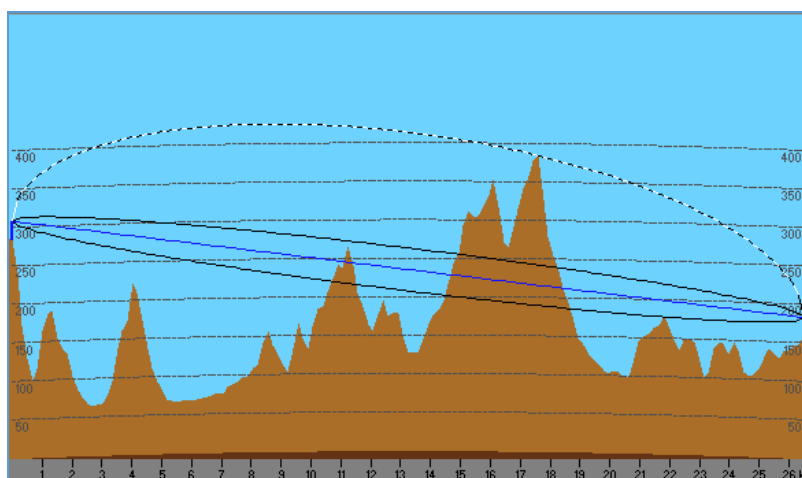


Figura 154. Perfil topográfico entre los puntos Río de Oro (Izquierda) y Mocochal (Derecha)

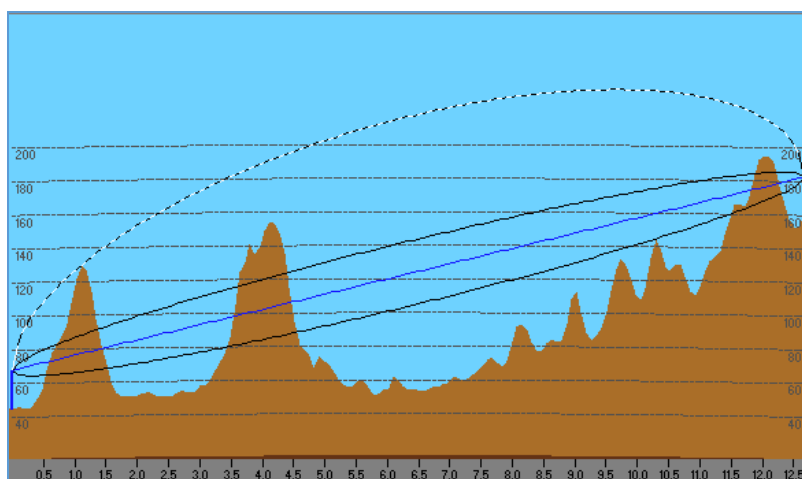


Figura 155. Perfil topográfico entre los puntos Río de Oro (Izquierda) y Loma Blanca (Derecha)

– **Estación Río de Oro.**

Ubicada al costado de la carretera Portoviejo-Manta en la parte inferior de la cadena montañosa Cerro de Hojas-Jaboncillo con cobertura de todos los operadores de Telefonía Celular (Voz, Datos, Internet) pero sin línea de vista hacia el siguiente punto Las Palmas. Este punto carece también de línea de vista hacia la parte superior de Cerro de Hojas imposibilitando la creación de un nodo inalámbrico en este sitio, los perfiles topográficos demuestran que no existe posibilidad de realizar enlaces entre los puntos de este acueducto, estos perfiles se muestran en la Figura 156.

La Figura 157 muestra la ubicación geográfica de los puntos Río de Oro, Las Palmas y El Colorado, tomado mediante el uso del programa Radio Mobile.

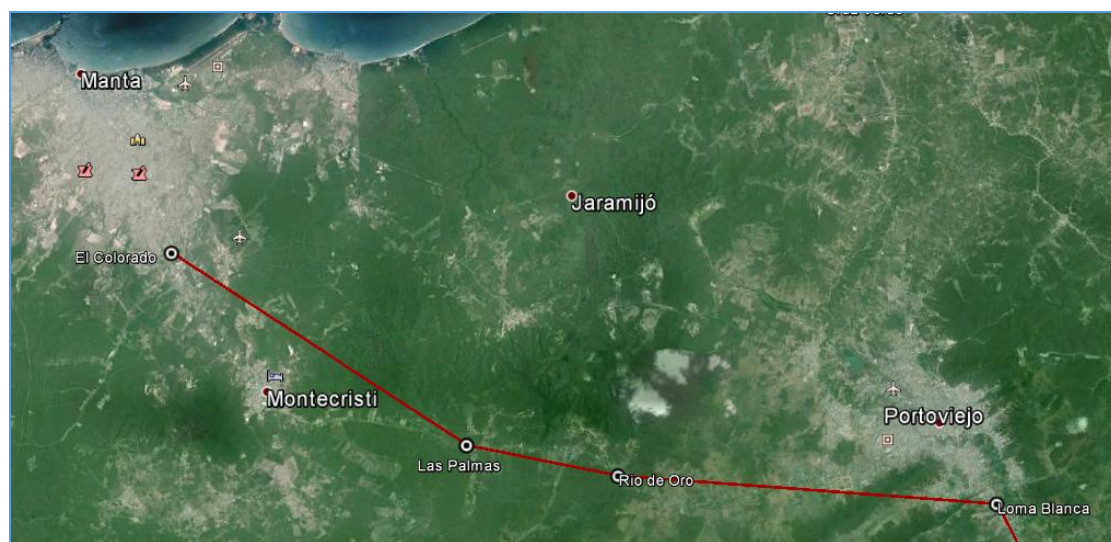


Figura 156. Ubicación geográfica de los puntos, Río de Oro, Las Palmas y El Colorado.

Fuente: (Google, 2014)

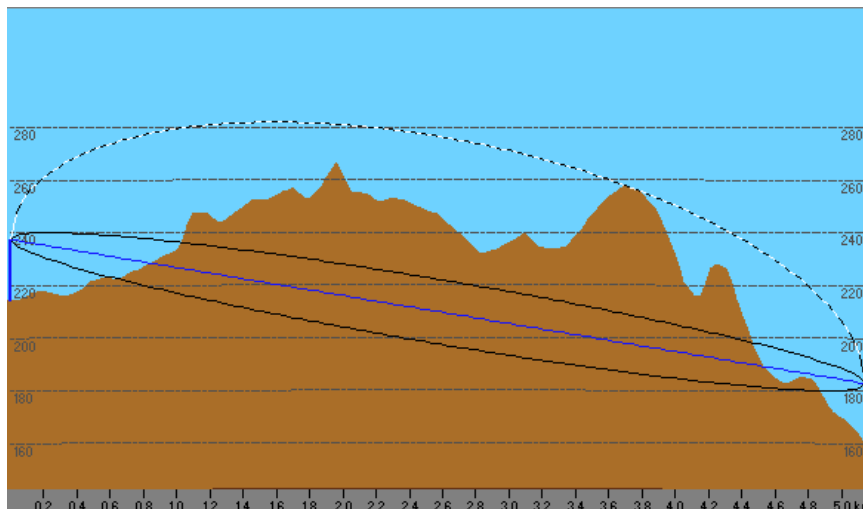


Figura 157. Perfil topográfico entre Las Palmas y Río de Oro.

– **Interconexión Las Palmas.**

Ubicada bajo las mismas condiciones de la estación anterior y con acceso a idénticos servicios. Esta estación no posee línea de vista hacia la Estación El Colorado por lo que se limita cualquier establecimiento de enlaces Inalámbricos directos como parte de una Red privada, La Figura 158 muestra el perfil para los punto Las Palmas y Colorado, imagen tomada mediante el uso del programa Radio Mobile.

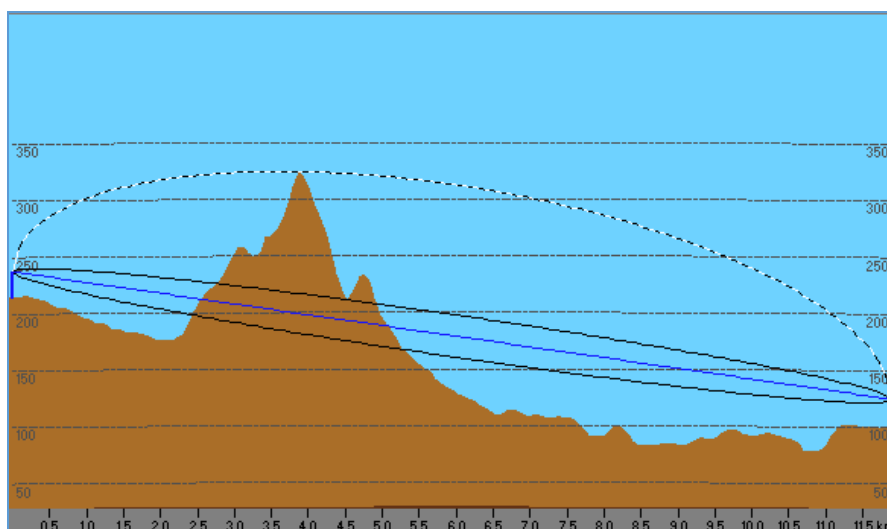


Figura 158. Perfil entre los puntos Las Palmas y Río de Oro

– **Estación El Colorado.**

Constituye la estación final del acueducto y se encuentra ubicada en la parroquia urbana Eloy Alfaro del Cantón Manta. Esta estación dista 7.29 Km del edificio Matriz y posee plena línea de vista, por lo que resulta práctico establecer un enlace inalámbrico a fin de tomar los recursos de red existentes en la Matriz, la Figura 159 muestra la ubicación de la estación El Colorado y el edificio Matriz así como la del tanque Intermedio perteneciente el segundo acueducto, mientras que la Figura 160 muestra el perfil para el radio enlace entre El Colorado y el edificio Matriz, tomado mediante el uso del programa Radio Mobile.

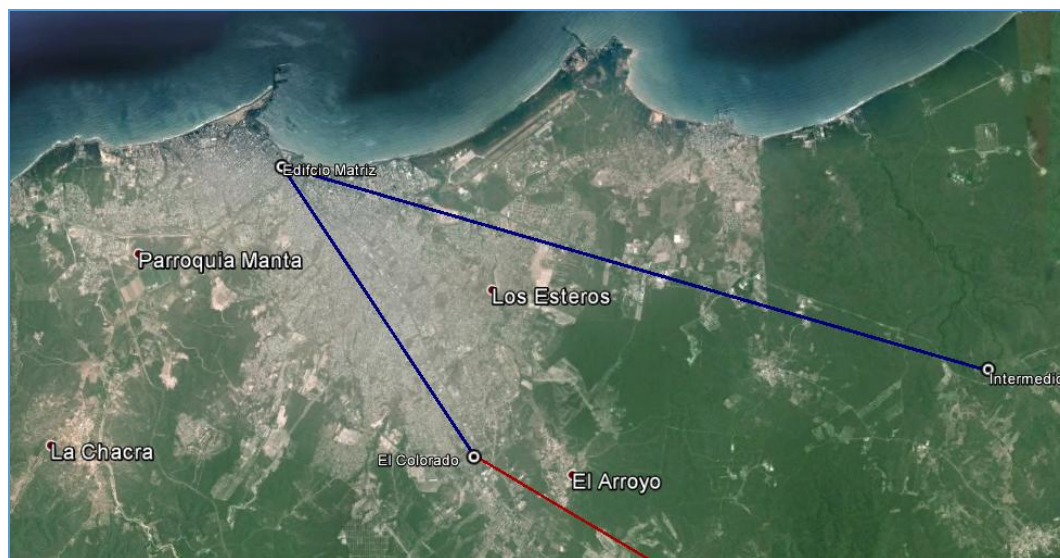


Figura 159. Ubicación del Edificio Matriz, El Colorado y Tanque Intermedio.

Fuente: (Google, 2014)

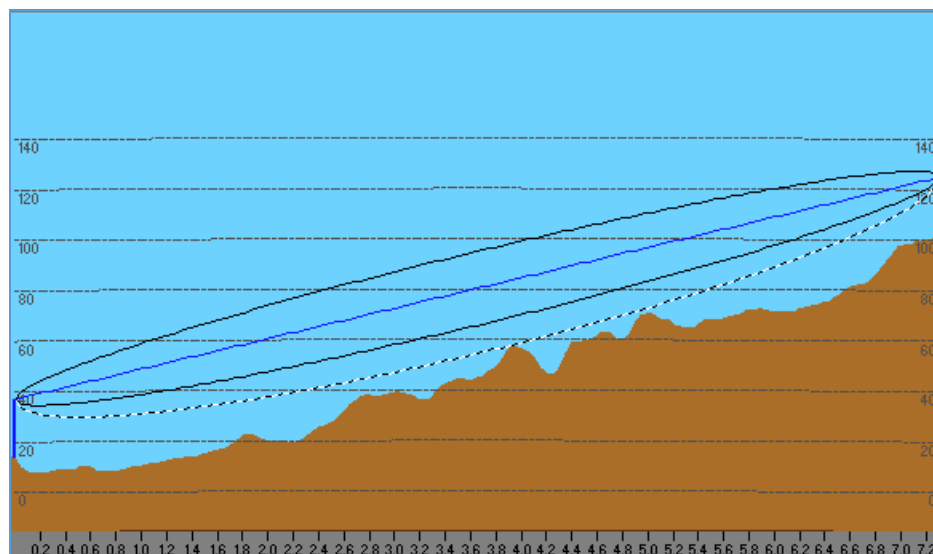


Figura 160. Perfil Topográfico para radio enlace entre Matriz (Izquierda) - Colorado (Derecha)

- **Análisis del sistema El Ceibal – Azúa.**

Los sitios que componen la red de este sistema serán los mismos que pertenecen al acueducto en mención y se presenta un pequeño análisis de la función de las mismas.

1. Estación El Ceibal: Potabilización y Bombeo.
2. Tanque Cruz Verde: Reservorio y conducción por gravedad.
3. Tanque Intermedio: Reservorio y conducción por gravedad.
4. Estación Azúa: Reservorio y distribución final.

La Tabla 95 muestra las coordenadas geográficas así como la altura sobre el nivel del mar para cada punto involucrado en la conducción.

Tabla 95. Ubicación y coordenadas geográficas para cada una de las estaciones de El Ceibal – Azúa.

Sitio	Latitud (Sur)	Longitud (Oeste)	Altura (msnm)
Estación El Ceibal	0° 55' 5.3"	80° 29' 5.2"	22.8
Tanque Cruz Verde	0° 55' 37.6"	80° 29' 18.6"	141.4
Tanque Intermedio	0° 59' 31.3"	80° 35' 21.7"	99.6
Estación Azúa	0° 59' 13.0"	80° 41' 40.6"	67.3

– **Estación El Ceibal.**

Ubicada en el Cantón Rocafuerte con una cobertura de Servicio Celular y transferencia de datos adecuada para un portador de servicios de valor agregado público o privado. Esta estación no posee línea de vista con el siguiente sitio Cruz Verde, en vista de ello no es posible establecer un enlace inalámbrico, la Figura 161 muestra el perfil entre los puntos El Ceibal y Cruz Verde tomados del programa Radio Mobile, mientras que la Figura 162 muestra la ubicación de cada punto dentro de la red.

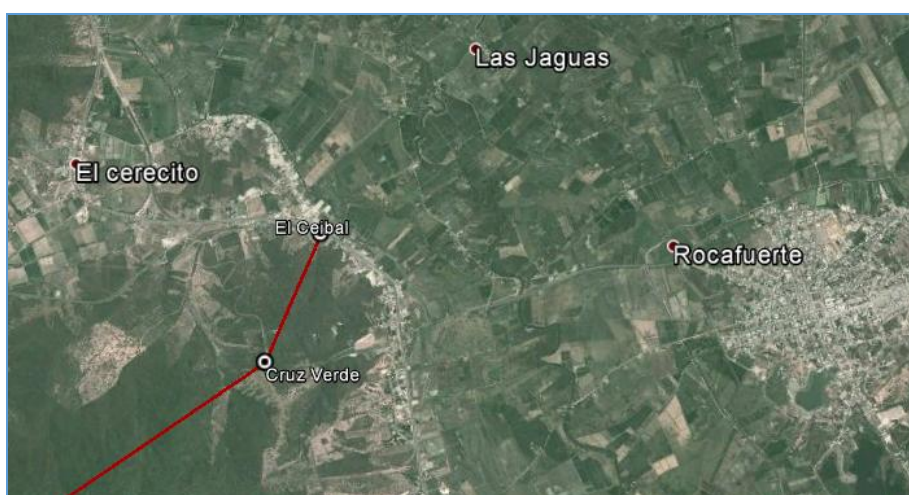


Figura 161. Ubicación de la estación El Ceibal y tanque Cruz Verde

Fuente: (Google, 2014)

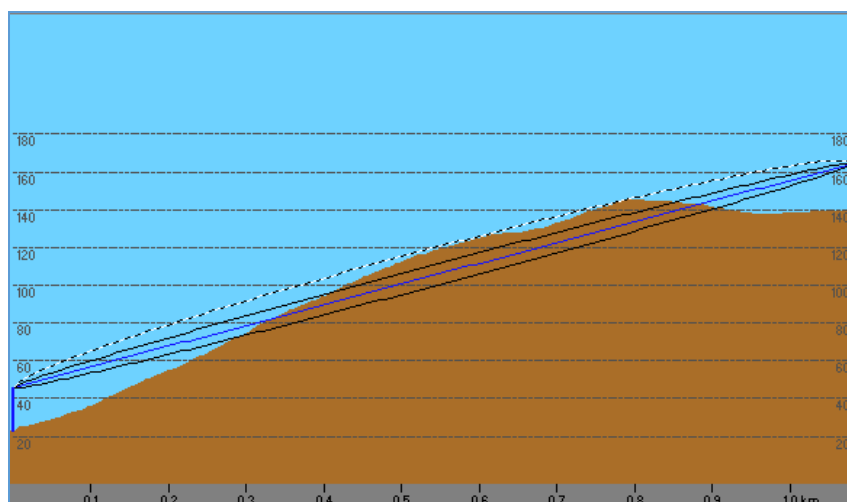


Figura 162. Perfil Topográfico entre El Ceibal (Izquierda) - Cruz Verde (Derecha)

– **Tanque Cruz Verde.**

Estación ubicada sobre el Cerro del mismo nombre sin línea de vista hacia las estaciones contiguas lo cual imposibilita el establecimiento de un enlace inalámbrico.

La Figura 164 demuestra que no existe línea de vista entre los puntos a tratar, el gráfico fue tomado mediante el programa Radio Mobile. En este mismo sitio se ubican las celdas de las operadoras Celulares posibilitando el acceso seguro y confiable a esta Red, por último la Figura 163 muestra la ubicación de los puntos Intermedio y Azua.

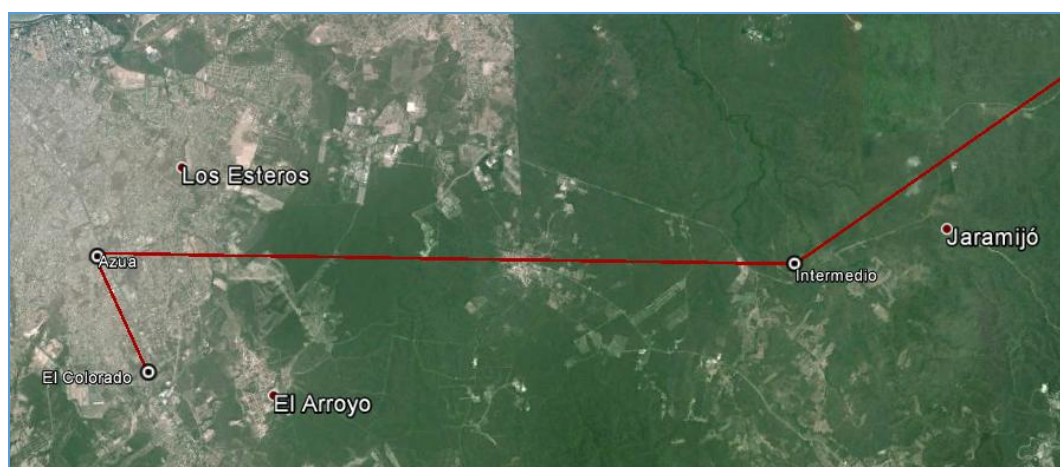


Figura 163. Ubicación de los puntos Intermedio y Azua

Fuente: (Google, 2014)

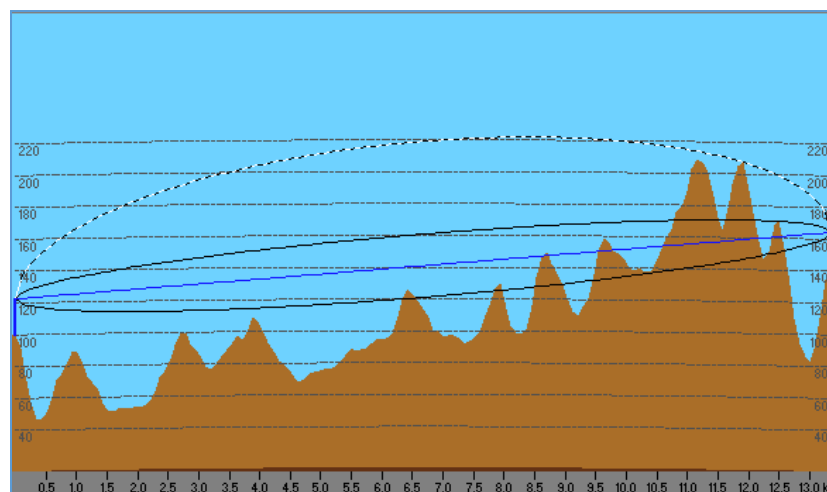


Figura 164. Perfil entre los puntos Intermedio y Cruz Verde

– **Tanque Intermedio.**

Ubicada en el Cantón Jaramijó con acceso a cualquier plataforma de comunicación pública o privada como servicio de valor agregado tanto a Internet o Portadores, con buena disponibilidad y confiabilidad. Esta Estación posee línea de vista hacia el edificio matriz lo que posibilita un enlace inalámbrico directo de 15.42 Km. La Figura 165 muestra el perfil topográfico para el enlace entre el edificio Matriz y Tanque Intermedio tomado mediante el programa Radio Mobile.

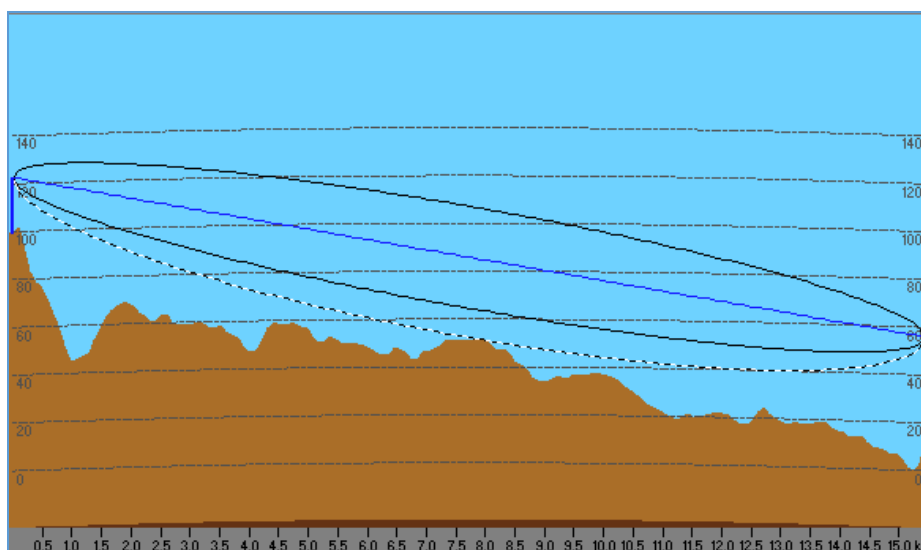


Figura 165. Perfil Topográfico para radio enlace entre Intermedio (Izquierda) - Matriz (Derecha)

– **Estación Azúa.**

Ubicada en la parroquia urbana Eloy Alfaro del Cantón Manta. Posee línea de Vista a la Estación colorado posibilitando el establecimiento de un enlace Inalámbrico directo de una distancia de 2.1 Km, la Figura 166 muestra el perfil topográfico entre Azua y El Colorado tomado mediante el uso del programa Radio Mobile.

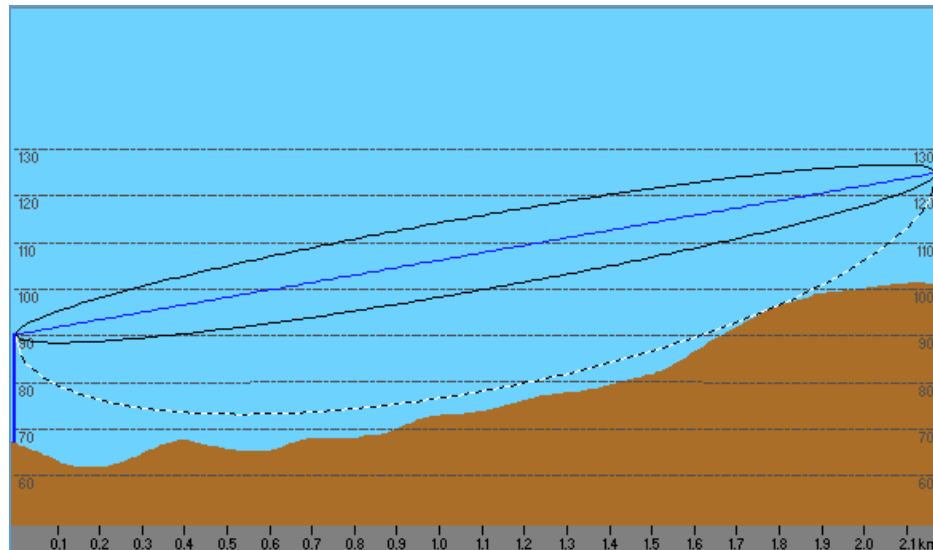


Figura 166. Perfil topográfico entre los puntos Azua (Izquierda) y El Colorado (Derecha)

4.4.3. Parametrización de cada equipo de comunicación.

De ser el caso y cambiar los equipos seleccionados por otra opción es muy importante que estos cumplan con los siguientes parámetros y consideraciones asegurando así que el sistema funcione como fue planteado.

Para los enlaces mediante banda no licenciada de 900 MHz ISM, se debe cumplir básicamente con lo siguiente.

- Tecnología: Punto - Multipunto.
- Modos de operación: Acces Point, Remoto, Store & Forward.
- Ancho de banda y sensibilidad: 125 Kbps / -105 dBm, 250 Kbps / -103 dBm, 500 Kbps / - 99 dBm, 1 Mbps / - 95 dBm, 1.25 Mbps / -95 dBm.
- Frecuencia: Banda 902 – 928 ISM.
- Tiempo de permanencia: 100 – 300 ms.
- Número de canales: Mayor a 80.
- Potencia: 100 mW – 1 W.

- Rango de distancia: Mayor a 30 millas.
- Máximo número de saltos: 8 Saltos.

Mientras que para la comunicación mediante red celular 3G/4G es muy importante conseguir equipos que cumplan con los siguientes parámetros de funcionamiento y operación.

Redes 3G.

- Protocolo y frecuencia: GSM, GPRS, EDGE, HSPA+, 850/900/1800/1900 MHz.
- Región y Portadora: Global, PTCRB, GCF.
- Velocidad máxima: 21 Mbps de bajada y 5 Mbps de subida.
- Velocidad típica: 5.5 Mbps de bajada y 0.3 Mbps de subida.

Redes 4G.

- Protocolo y frecuencia: LTE, CDMA 700 MHz.
- Región y Portadora: Versión americana.
- Velocidad máxima: 50 Mbps de bajada y 25 Mbps de subida.
- Velocidad típica: 21 Mbps de bajada y 10 Mbps de subida.

Las características de operación, tanto eléctricas como mecánicas dependen del propio equipo que se seleccione ya que estas no limitan la operación en red del sistema, pero si es muy importante que al ser equipos de rango industrial tienen que soportar condiciones de ambiente como:

- Temperatura: -40 °C a 70 °C.
- Humedad: 95% a 60 °C.

4.4.4. Topología de red y direccionamiento IP.

Como parte del análisis del desarrollo de una red de comunicación necesaria para el funcionamiento del sistema de automatización se establece una propuesta de conectividad para cada acueducto y los sistemas desarrollados.

- **Propuesta de Conectividad Acueducto Caza Lagarto – El Colorado.**

Del análisis efectuado en cada uno de los sitios y su disponibilidad de conexión planteamos una solución mixta de comunicación entre una red privada inalámbrica y la renta de servicios de un operador celular, aprovechando la plataforma de comunicación M2M (Machine to Machine) 3G/4G disponibles para sistemas Smart Grid, Smart Cities, y máquinas que requieren control remoto y supervisión.

Los requerimientos de tráfico analizados previamente requieren de una plataforma de comunicación de banda angosta (≤ 1.5 Mbps) y de un equipo de comunicación híbrido de última generación capaz de integrar accesos a Redes Celulares 3G/4G, WiFi, Banda ISM 900 MHz, Ethernet, Serial y de tipo industrial capaz de trabajar en ambientes y condiciones adversas. Para lo cual se ha seleccionado la tecnología de la Serie Orbit de MDS subdivisión perteneciente a General Electric la cual cumple con las especificaciones requeridas y sus características ya han sido analizadas en el Capítulo 3.

La Figura 167 muestra la topología de red y propuesta de conectividad entre cada punto perteneciente a red de comunicación para el sistema del acueducto Caza Lagarto – El Colorado.

Además de la topología también se presenta un análisis referente a cada enlace y nodo de la red tanto en funcionamiento como en capacidades.

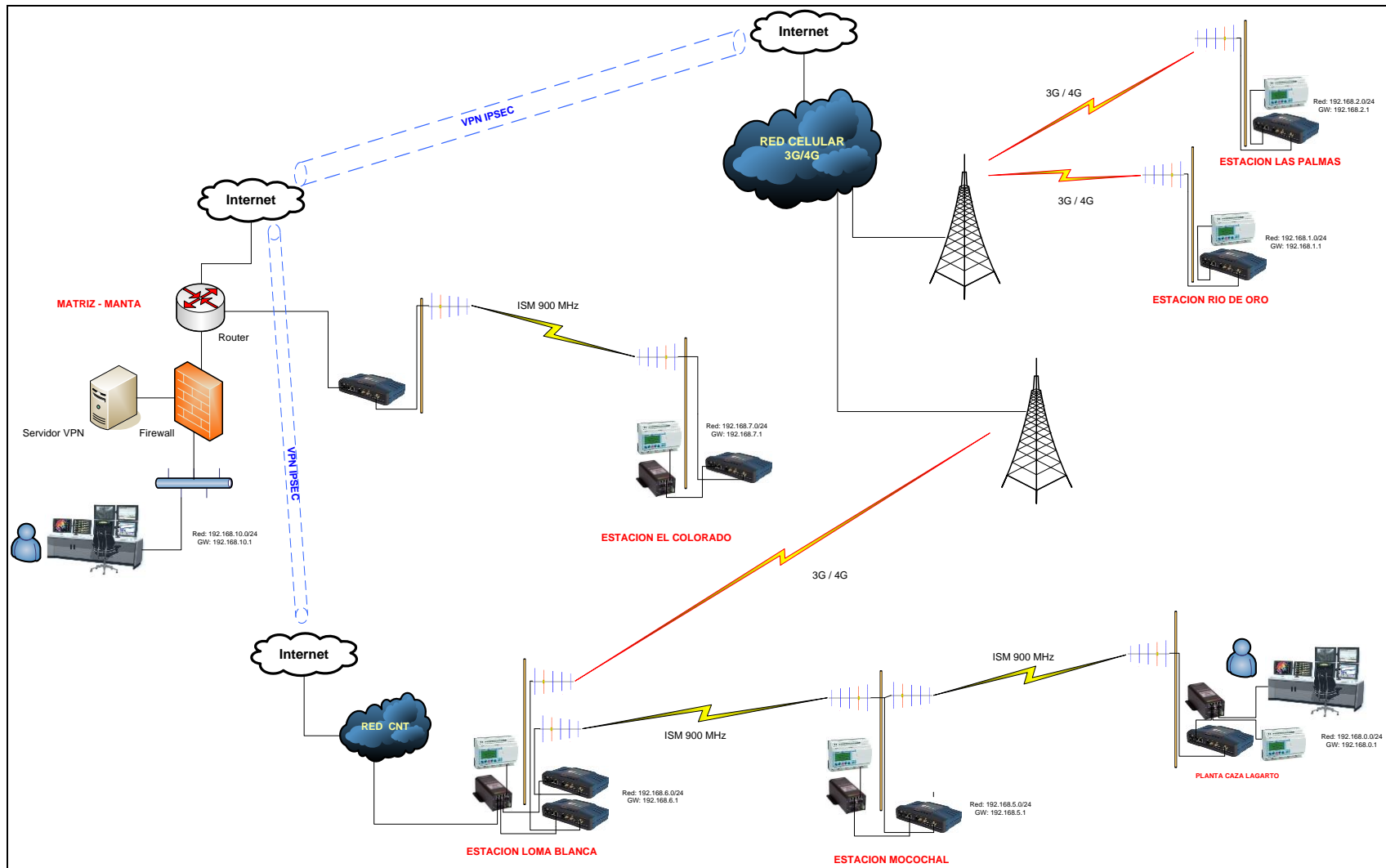


Figura 167. Topología de red y propuesta de conectividad para la red del acueducto Caza Lagarto - El Colorado

- **Enlace Caza Lagarto a Mocochal:** A ser implementado en banda no licenciada ISM de 900 MHz con una capacidad de 1.5 Mbps como parte de un sistema punto multipunto. Caza Lagarto debe contar con un equipo Remoto mientras que en Mocochal un Punto de Acceso.

- **Enlace Mocochal a Loma Blanca:** A ser implementado en banda no licenciado ISM de 900 MHz con una capacidad de 1.5 Mbps como parte de un sistema punto multipunto. El Punto de Acceso será ubicado en Mocochal con un splitter de dos vías capaz de permitir unir las señales de Loma Blanca y Caza Lagarto. Loma Blanca debe contar con un equipo Remoto.

- **Nodo de Acceso Múltiple Loma Blanca:** Este punto a más del equipo Remoto descrito anteriormente tendrá un equipo adicional capaz de permitir una conexión dual 3G/4G de backup y un enlace principal de acceso a internet de la Red de CNT a través de Fibra Óptica. La redundancia de comunicación en este nodo es importante para la confiabilidad del sistema quien mantendrá una VPN (Virtual Private Network) permanente con el Servidor de Matriz que a la vez permitirá el flujo de Datos con las demás estaciones.

- **Enlace Río de Oro:** Esta punto tendrá un equipo capaz de permitir una conexión dual 3G/4G principal y de backup a dos operadora de la Red Celular distintas permitiendo incrementar la confiabilidad a la falla de una de las Redes. Esta estación mantendrá una VPN permanente con el Servidor de la Matriz permitiendo el flujo de Datos con las demás estaciones.

- **Enlace Las Palmas:** Esta punto tendrá un equipo capaz de permitir una conexión dual 3G/4G principal y de backup a dos operadoras de la Red Celular distintas permitiendo incrementar la confiabilidad a la falla de una de las Redes. Esta estación mantendrá una VPN permanente con el Servidor de la Matriz permitiendo el flujo de Datos con las demás estaciones.

- **Enlace Colorado con Matriz:** A ser desarrollado en banda no licenciada ISM de 900 MHz con una capacidad de 1.5 Mbps como parte de un sistema Punto Multipunto entre el edificio Matriz. Esta Estación tendrá comunicación con el resto de estaciones al tomar los recursos de Red propios de la estación Matriz.

La comunicación por VPN entre los diferentes sitios del acueducto posibilitara el flujo de información con la seguridad necesaria las cuales será reforzada por la configuración de políticas de acceso en cada uno de los firewall de la red. El direccionamiento IP para esta red se presenta en la Tabla 96 sabiendo que todos cada uno de los puntos de la red constituyen diferentes redes las cuales serán enrutadas mediante un Router ubicado en la Matriz.

Tabla 96. Direccionamiento IP de redes del sistema Caza Lagarto - El Colorado

Estación	Equipo	IP	Gateway	Máscara
Caza Lagarto	Orbit	192.168.0.2	192.168.0.1	/24
Caza Lagarto	PLC	192.168.0.3	192.168.0.1	/24
Caza Lagarto	Computadora	192.168.0.4	192.168.0.1	/24
Mocochal	Orbit 1	192.168.5.2	192.168.5.1	/24
Mocochal	Orbit 2	192.168.5.3	192.168.5.1	/24
Mocochal	PLC	192.168.5.4	192.168.5.1	/24
Loma Blanca	Orbit 1	192.168.6.2	192.168.6.1	/24
Loma Blanca	Orbit 2	192.168.6.3	192.168.6.1	/24
Loma Blanca	PLC	192.168.6.4	192.168.6.1	/24
Río de Oro	Orbit	192.168.1.2	192.168.1.1	/24
Río de Oro	PLC	192.168.1.3	192.168.1.1	/24
Las Palmas	Orbit	192.168.2.2	192.168.2.1	/24
Las Palmas	PLC	192.168.2.3	192.168.2.1	/24
El Colorado	Orbit	192.168.7.2	192.168.7.1	/24
El Colorado	PLC	192.168.7.3	192.168.7.1	/24

- **Propuesta de Conectividad Acueducto El Ceibal – Azúa.**

Bajo las mismas consideraciones general y requisitos de la propuesta de conectividad requerida en el acueducto Caza Lagarto presentamos el esquema propuesto para el Acueducto del Ceibal expresado de forma gráfica en la Figura 168, así también se presenta un análisis basado en los enlaces y nodos presentes en esta red.

- **Enlace Planta El Ceibal:** Este punto debe contar con un equipo capaz de permitir una conexión dual 3G/4G principal y de backup a dos operadora de la Red Celular distintas permitiendo incrementar la confiabilidad a la falla de una de las Redes. Esta estación mantendrá una VPN permanente con el Servidor de la Matriz permitiendo el flujo de Datos con las demás estaciones.
- **Enlace Cruz Verde:** Este punto debe contar con un equipo capaz de permitir una conexión dual 3G/4G principal y de backup a dos operadoras Red Celular distintas permitiendo incrementar la confiabilidad a la falla de una de las Redes. Esta estación mantendrá una VPN permanente con el Servidor de la Matriz permitiendo el flujo de Datos con las demás estaciones.
- **Enlace Intermedio a Matriz:** A ser desarrollado en banda no licenciada ISM de 900 MHz con una capacidad de 1.5 Mbps como parte de un sistema Punto Multipunto entre el edificio Matriz. Esta Estación tendrá comunicación con el resto de estaciones al tomar los recursos de Red propios de la estación Matriz.
- **Enlace Azua:** A ser desarrollado en banda no licenciada ISM de 900 MHz con una capacidad de 1.5 Mbps como parte de un sistema Punto Multipunto de la Estación Colorado. Esta Estación tendrá comunicación con el resto de estaciones al tomar los recursos de Red propios de la estación Matriz.

Al igual que la propuesta anterior la comunicación por VPN entre los diferentes sitios del acueducto posibilitara el flujo de información con la seguridad necesaria las cuales será reforzada por la configuración de políticas de acceso en cada uno de los firewall de la red. Por Ultimo se presenta en la Figura 169 la topología de la red completa uniendo los dos acueductos.

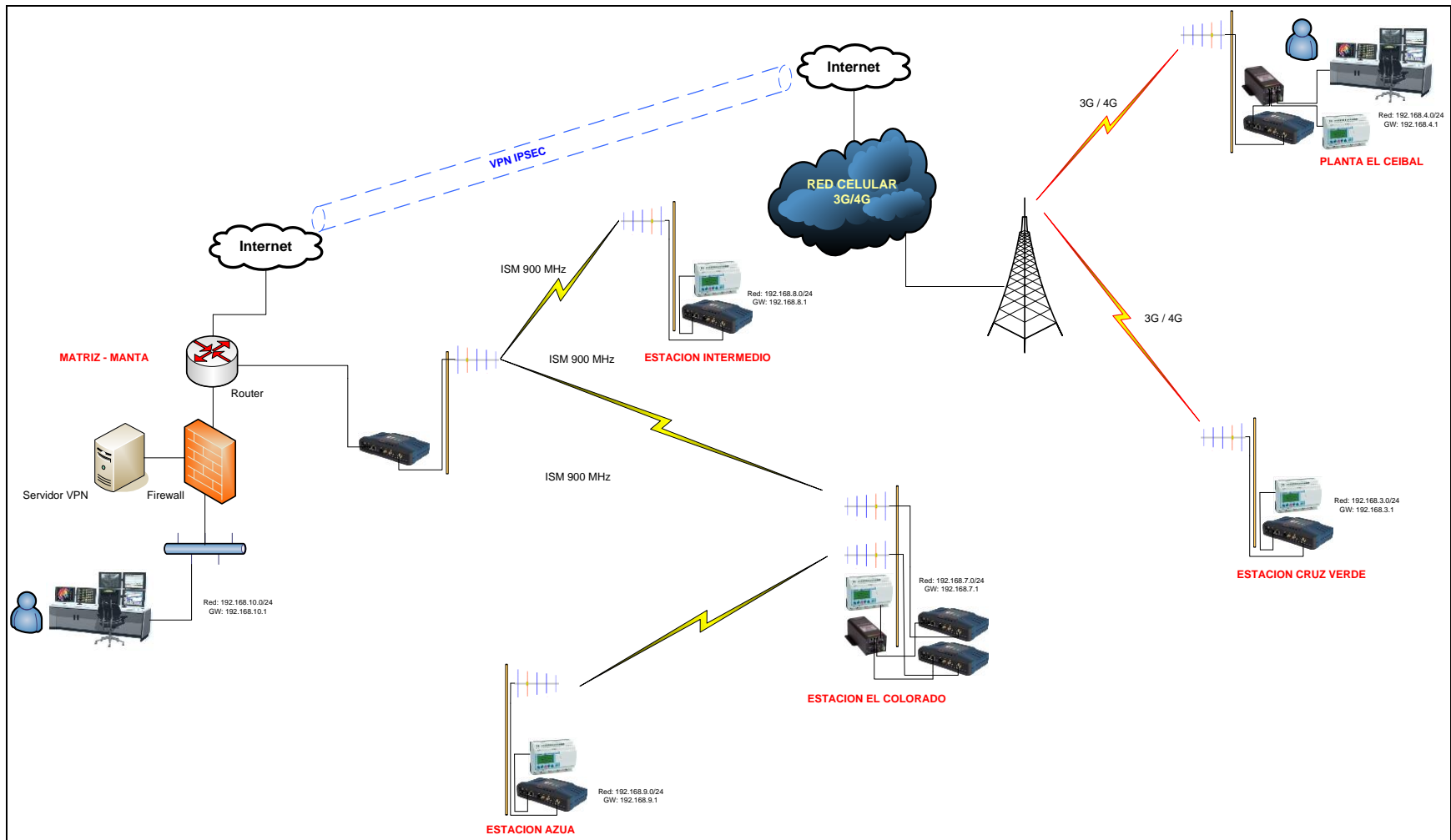


Figura 168. Topología de red y propuesta de conectividad para la red del acueducto El Ceibal – Azúa

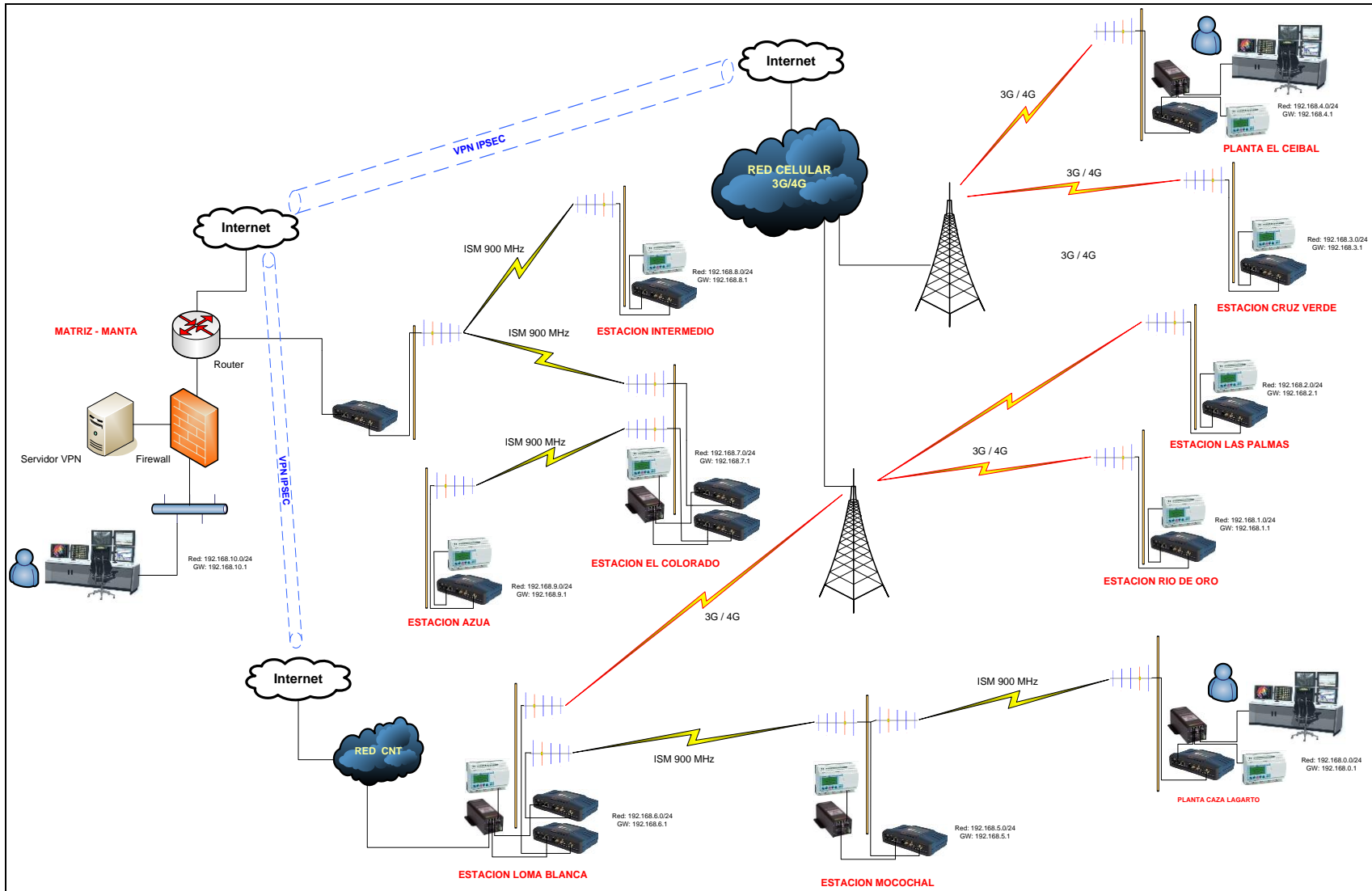


Figura 169. Topología de red y propuesta de conectividad para la red de los dos acueductos

4.5. Diseño de la lógica de control, operación y software para cada uno de los subsistemas desarrollados en el proyecto de manera que se trabaje como un solo sistema.

El sistema de automatización del proceso de conducción en los acueductos Caza Lagarto – El Colorado y El Ceibal – Azúa tiene la misma lógica de operación y control, los sistemas son encargados de los siguientes procesos.

- i. Control y operación del proceso de impulsión de agua desde cada estación de bombeo incluyendo la medición de presión, caudal y temperatura de cada bomba.
- ii. Control de nivel y operación de tanques de almacenamiento y distribución presentes en la línea de conducción.
- iii. Medición de caudal en diversos puntos de la línea de conducción, detección de fugas en tuberías.
- iv. Monitoreo y supervisión de variables y procesos mediante interfaces HMI.
- v. Capacidad de generar reportes sobre datos y alarmas en cada proceso involucrado en la conducción.
- vi. Integración con una base de datos que permite registrar y almacenar datos seleccionados de cada proceso como alarmas o valores de caudal.

Sabiendo estos lineamientos se interpreta el sistema completo en un diagrama de bloques donde se incluye los principales sistemas involucrados en la automatización del proceso de conducción, es diagrama es presentado en la Figura 169 donde se ilustra los procesos y sistemas del acueducto Caza Lagarto – El Colorado así como sus interrelaciones e intercambio de información.

Mientras que la Figura 170 donde se ilustra los procesos y sistemas del acueducto El Ceibal – Azúa así como sus interrelaciones e intercambio de información.

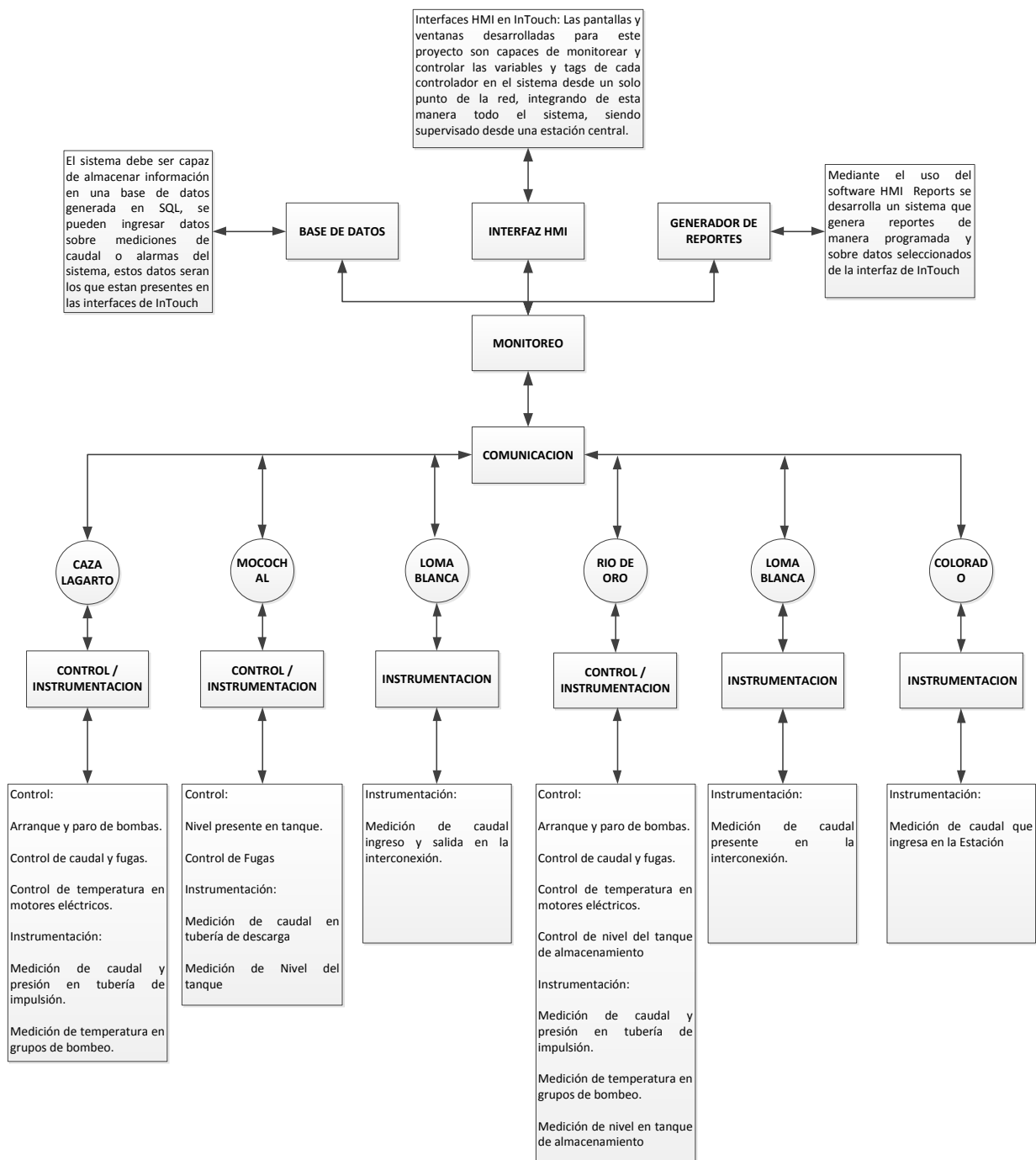


Figura 170. Diagrama de bloques e interrelaciones en el sistema Caza Lagarto - El Colorado

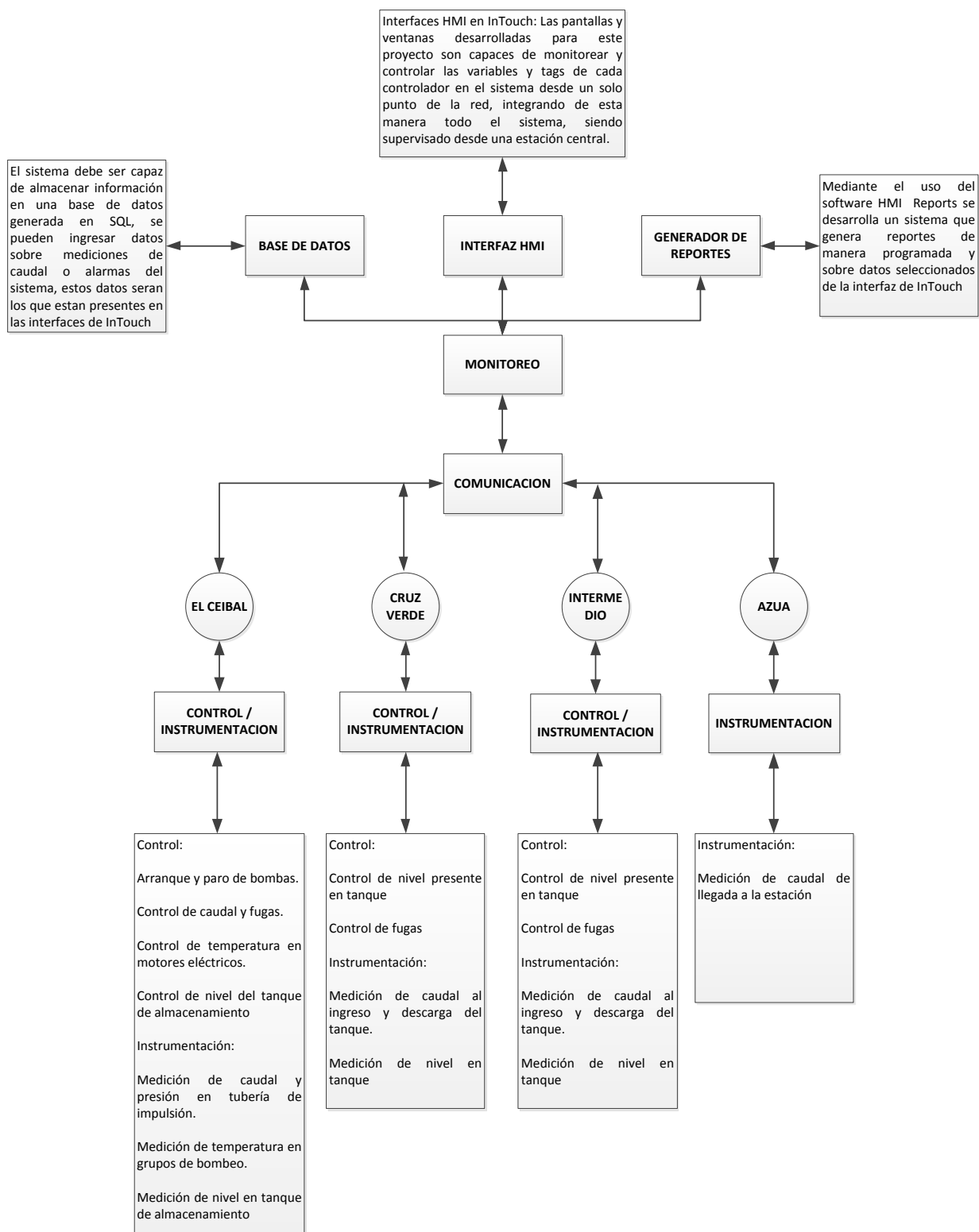


Figura 171. Diagrama de bloques e interrelaciones en el sistema El Ceibal – Azúa

4.5.1. Características claves del sistema de automatización para la conducción de aguas.

Para el diseño propuesto se debe realizar una lista de características que debe poseer y se han desarrollado, con el objetivo de conocer e informar cuales son las funciones, opciones o propiedades del sistema (eholder1)

- **Interfaces de Usuario.**

- i. Periféricos de computadora como ratón o teclado, se puede ingresar datos o activar botones.

- **Pantallas gráficas.**

- i. El sistema Caza Lagarto – El Colorado cuenta con siete pantallas en la interfaz.
- ii. El sistema El Ceibal – Azúa cuenta con cinco pantallas en la interfaz.
- iii. La resolución de las pantallas es de 1280 x 1024, cuenta con una gran gama de colores.

- **Alarmas.**

- i. Arquitectura Cliente – Servidor.
- ii. Las alarmas se presentan con una precisión de un 1 milisegundo.
- iii. Las alarmas deben ser compartidas para todo los clientes.
- iv. Las alarmas son desplegadas en orden cronológico.
- v. Colores y formatos definidos.

- **Gráficos de Tendencias.**

- i. Arquitectura Cliente – Servidor.
- ii. Posibilidad de exportar información a una base de datos.

- iii. Grafico en función del tiempo, forma X/Y.
- iv. Gráficos multi línea de manera simultánea y en tiempo real.
- v. Los gráficos e tendencia se presentan en tiempo real y con almacenamiento histórico.
- vi. Los datos históricos deben ser archivados y almacenados.

- **Interfaz de PLC.**

- i. Protocolos de comunicación deben estar incluidos.
- ii. Drivers DDE deben ser manejados.
- iii. Maximización del ancho de banda usado por el PLC.

- **Escalabilidad.**

- i. Equipos adicionales pueden ser añadidos tanto a la red como al sistema de monitoreo sin necesidad de modificar el equipamiento existente.
- ii. Agregar más hardware es limitado solo por la capacidad del PLC y la arquitectura diseñada.

- **Acceso a los datos.**

- i. Acceso directo y en tiempo real a los datos manejados por la interfaz.
- ii. Compatibilidad DDE para lectura y escritura de variables I/O.

- **Base de datos.**

- i. Manejado por driver ODBC.
- ii. Comandos de SQL tienen acceso directo en el software de monitoreo.

- **Red de comunicación.**

- i. La red debe poder ser manejada por el sistema operativo Windows.
- ii. Trabaja mediante protocolo TCP/IP.
- iii. La configuración de la red debe ser transparente para los controladores e interfaces.
- iv. Trabajo con topologías de red estrella y tipo bus.
- v. Sistema multi usuario en el cual todos pueden acceder a la información.

- **Tolerancia y redundancia a fallos.**

- i. Redes LAN trabajan con redundancia.
- ii. La redundancia puede ser aplicada a hardware seleccionados.
- iii. Los datos importantes como mediciones o alarmas son manejados por la interfaz, base de datos y sistema de reportes.
- iv. Recuperación automática luego de una falla.
- v. Detección de fallos de comunicación y operación.

- **Procesamiento distribuido Cliente – Servidor.**

- i. Arquitectura de diseño abierta.
- ii. Arquitectura Cliente – Servidor no necesita de configuración.
- iii. Se puede acceder a cualquier tag o variable como tendencias, alarmas o reportes desde el nodo que se desee.

4.5.2. Configuración de pasarela o driver OPC DDE para comunicación entre InTouch y RSLinx.

Como se indicó en análisis anteriores para que la interfaz pueda estar en una computadora la cual se encuentra en cualquier punto de la red se debe contar con todos los tags del PLC en un solo punto o servidor, los tags de cada interfaz y su asociación con el PLC fueron presentados en las Tablas desde la 79 a la 84 tanto para el sistema Caza

Lagarto – El Colorado como el sistema El Ceibal – Azúa. Para crear la comunicación entre RSLinx e InTouch se debe seguir los siguientes pasos.

Los driver Ethernet/IP creados anteriormente con los nombres de RED_CL_COL y RED_ECE_AZ los cuales poseen en red a todos los PLC son usados para asociar los tags de interfaz con los del PLC.

- i. En el programa RSLinx dentro de la barra de menú, la opción DDE/OPC, Topic Configuration, se crea los tópicos con los nombre CAZA_COLORADO y CEIBAL_AZÚA, los cuales serán asociados con los drivers RED_CL_COL y RED_ECE_AZ, la Figura 172 muestra la configuración de estos tópicos.

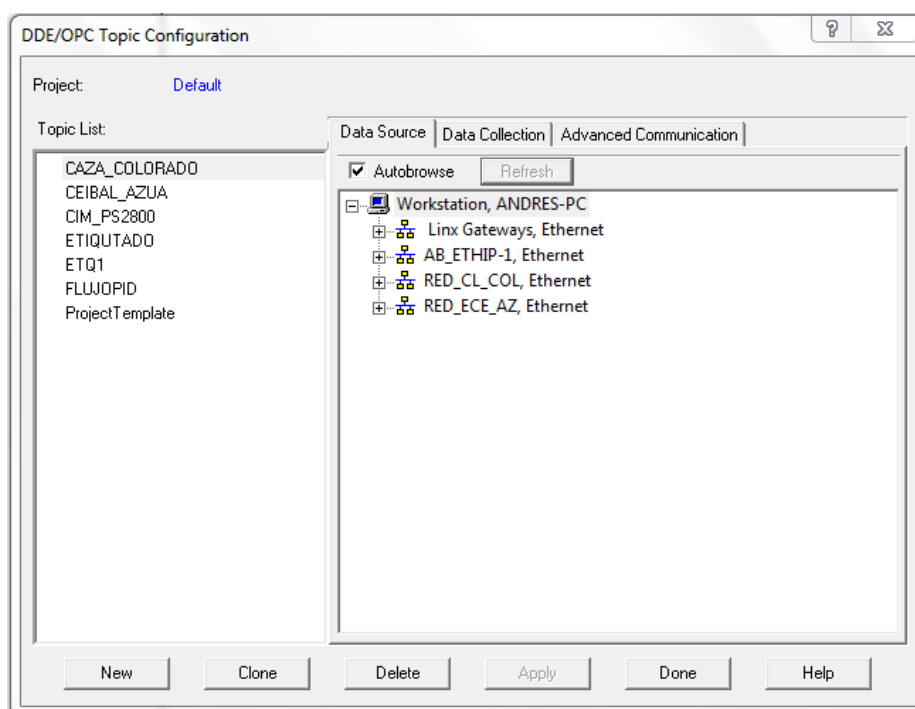


Figura 172. Creación y asociación de tópicos y drivers para la comunicación DDE/OPC

- ii. Dentro de InTouch para el tag deseado a comunicar, el cual puede ser del tipo Real, Integer o Discrete de I/O, para este ejemplo se lo realizara para el switch que acciona la válvula de salida en la estación de bombeo El Ceibal, la Figura 173 muestra el nombre del Tag.

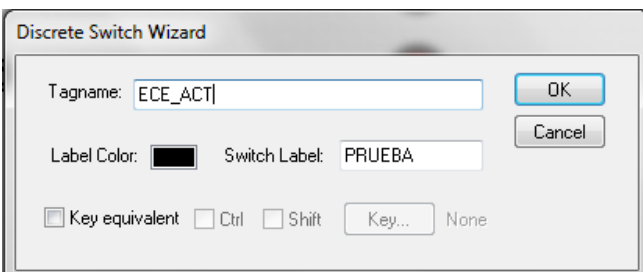


Figura 173. Creación del tag ECE_ACT en InTouch, comunicación DDE/OPC

- iii. La configuración de este Tag se presente en la Figura 174 mostrando el tipo de dato, el Acces Name para comunicación DDE/OPC y el Ítem de asociación del PLC.

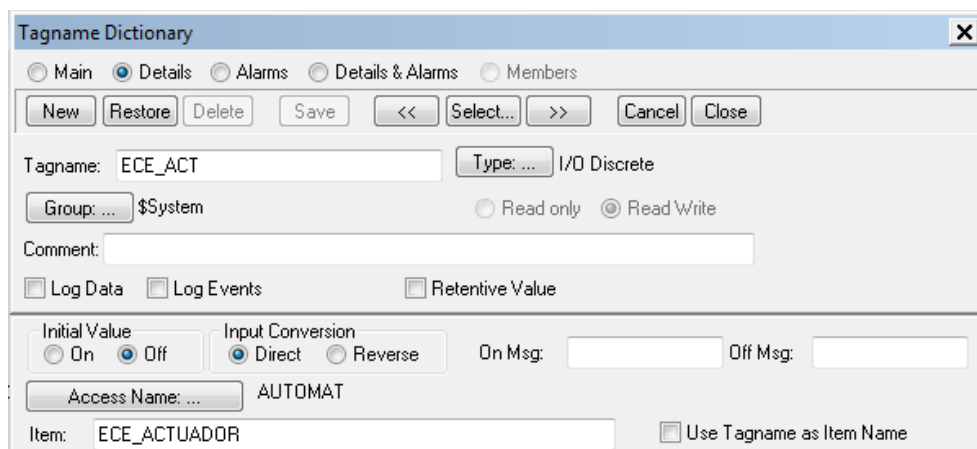


Figura 174. Configuración de tag para comunicación DDE/OPC y asociación con el PLC

- iv. Para la configuración de Acces Name se debe abrir la pestaña que posee este nombre e ingresar los siguientes parámetros como se muestra en la Figura 175.

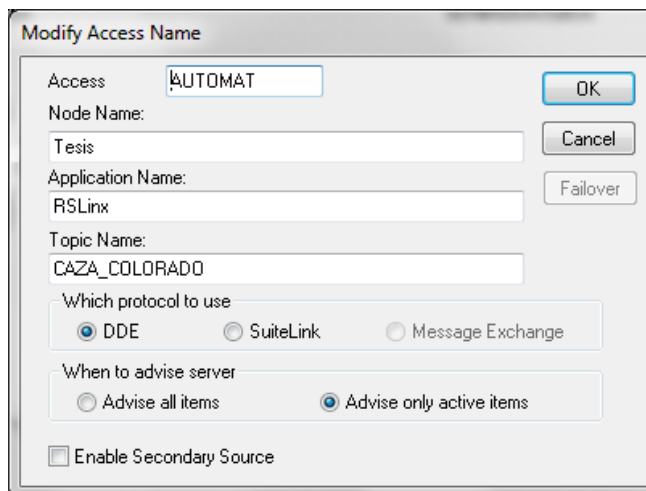


Figura 175. Configuración de Acces Name para DDE/OPC de RSLinx

Siguiendo estos pasos se puede asociar todos los Tags tanto de la interfaz como el PLC para que la integración y operación del proceso sea exitosa, tomando en cuenta que para el desarrollo de las interfaces del otro sistema de automatización los nombres de los tópicos cambia por CEIBAL_ AZÚA, llegando de esta manera al paso final del diseño y desarrollo de la operación del sistema de automatización para la conducción de aguas.

CAPITULO 5

SIMULACIÓN

5.1. Simulación de la lógica de control desarrollada.

La lógica de control presentada y desarrollada en el capítulo de Ingeniería de Detalle para el sistema de control muestra las posibilidades y acciones que contará el controlador de cada estación, esta simulación es desarrollada para comprobar la factibilidad y viabilidad del sistema de control diseñado para cada uno de estos puntos:

- i. Lógica de control de la estación de bombeo El Ceibal.
- ii. Lógica de control de la estación de bombeo Caza Lagarto.
- iii. Lógica de control de la estación de bombeo Río de Oro.
- iv. Lógica de control para la detección de fugas en el sistema de conducción Caza Lagarto – El Colorado.
- v. Lógica de control para la detección de fugas en el sistema de conducción El Ceibal – Azúa. 4

Para el desarrollo de las simulaciones se ha usado el software LabVIEW versión 2011 ya que este permite presentar y operar una interfaz de usuario que permite controlar las

acciones de la simulación y además que su entorno de programación cumple con los requisitos necesarios para el desarrollo de los siguientes parámetros.

- i. Lectura de variables analógicas las cuales representan los sensores seleccionados.
- ii. Lectura de variables discretas que vienen a representar los elementos de maniobra como son interruptores, pulsadores o botones de las interfaces.
- iii. Operaciones lógicas, comparación, repetición y aritméticas usadas para el desarrollo de la lógica de control.
- iv. Representación de variables discretas usadas como indicadores o alarmas.

A continuación se presenta las interfaces de operación para cada una de las simulaciones desarrolladas.

- **Simulación de lógica de control de estación El Ceibal.**

Esta simulación presenta la posibilidad de trabajar en modo automático o manual, para el automático se puede seleccionar que conjunto de bombas van a trabajar, las opciones son B1/B2/B3, B1/B3/B4, B1/B2/B4, B2/B3/B4, mientras que en modo manual se puede encender y apagar cualquier bomba de manera independiente, la lógica de control siempre toma en cuenta las alarmas para poder operar cada bomba ya sea de temperatura o nivel, la Figura 176 muestra la interfaz para la simulación de esta estación, la cual presenta los siguientes elementos.

- Tanque de estación e indicador de nivel, indicador de temperatura e indicador de presión y caudal.
- Elementos de maniobra, switch de opciones de operación, botones de paro de bombas, selector modo manual / automático y switch para arranque de bomba en modo manual.

- Indicadores de estados de bomba y alarmas de temperatura y nivel.



Figura 176. Pantalla de control para la simulación de operación El Ceibal

- **Simulación de lógica de control de estación Caza Lagarto.**

Esta simulación presenta la posibilidad de trabajar en modo automático o manual, para el automático se puede seleccionar que conjunto de bombas van a trabajar, las opciones son B1/B2, B2/B3, B1/B3, mientras que en modo manual se puede encender y apagar cualquier bomba de manera independiente, la lógica de control siempre toma en cuenta las alarmas para poder operar cada bomba ya sea de temperatura o nivel, la Figura 177 muestra la interfaz para la simulación de esta estación, la cual presenta los siguientes elementos.

- Interruptores de nivel, indicadores de temperatura e indicadores de presión y caudal.

- Elementos de maniobra, switch de opciones de operación, botones de paro de bombas, selector modo manual / automático y switch para arranque de bomba en modo manual.
- Indicadores de estados de bomba y alarmas de temperatura y nivel.



Figura 177. Pantalla de control para la simulación de operación Caza Lagarto

- **Simulación de lógica de control de estación Río de Oro.**

Esta simulación presenta la posibilidad de trabajar en modo manual debido a que solo existen dos bombas, en modo manual se puede encender y apagar cualquier bomba de manera independiente, la lógica de control siempre toma en cuenta las alarmas para poder operar cada bomba ya sea de temperatura o nivel, la Figura 178 muestra la interfaz para la simulación de esta estación, la cual presenta los siguientes elementos.

- Tanque e indicador de nivel, indicador de temperatura e indicador de presión y caudal.

- Elementos de maniobra, switch de arranque de bomba, botón de paro para bombas.
- Indicadores de estados de bomba y alarmas de temperatura y nivel.

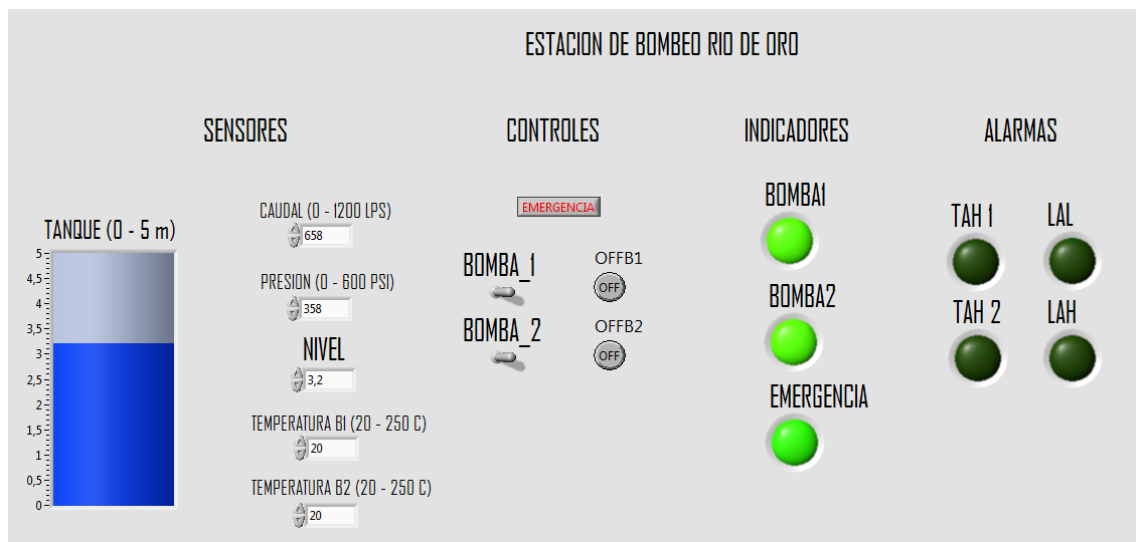


Figura 178. Pantalla de control para la simulación de operación Río de Oro

- **Simulación de lógica de control para detección de fugas de la línea de conducción Caza Lagarto – El Colorado y El Ceibal – Azúa.**

Mediante la simulación de la lógica de detección de fugas se ha logrado comprobar la viabilidad de la lógica de control diseñada, dentro de la interfaz de simulación se puede manipular controles numéricos los cuales representan los sensores de caudal seleccionados, además mediante indicadores se puede evaluar en que tramo existe una fuga de agua. La pantalla de operación del acueducto Caza Lagarto – El Colorado se muestra en la Figura 179, mientras que la pantalla de operación del acueducto El Ceibal – Azúa se muestra en la Figura 180.

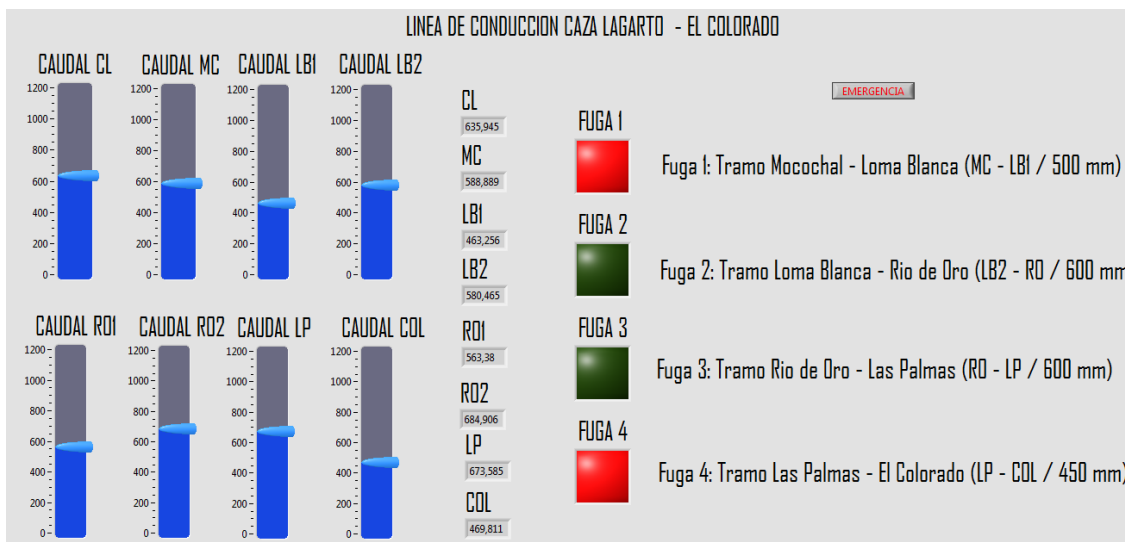


Figura 179. Pantalla de simulación para detección de fugas en el acueducto Caza Lagarto - El Colorado

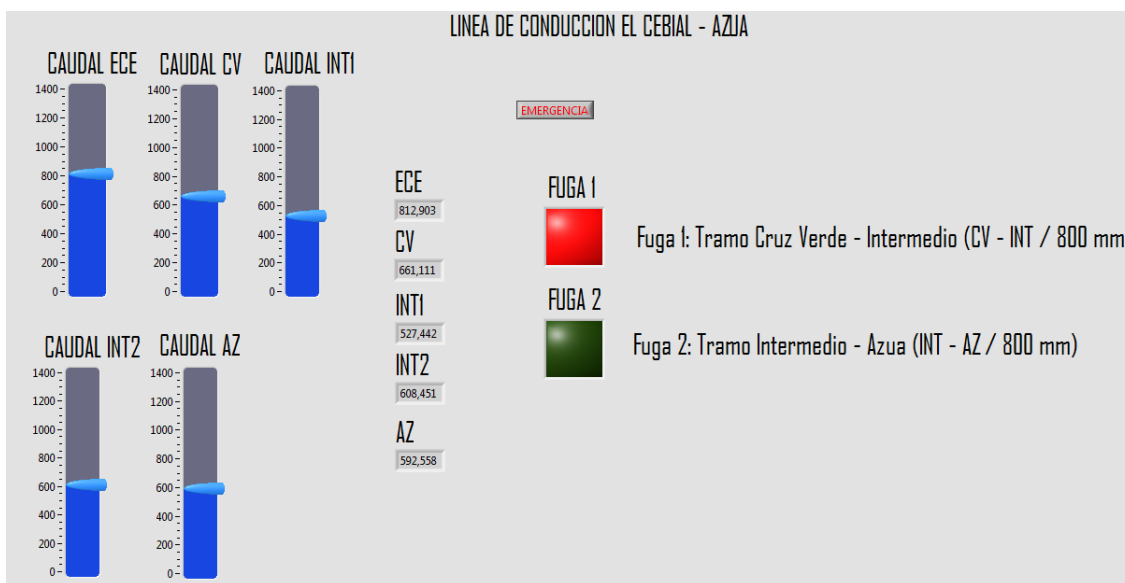


Figura 180. Pantalla de simulación para detección de fugas en el acueducto El Ceibal – Azúa

5.2. Simulación de pantallas HMI desarrolladas.

Mediante la simulación de las pantallas HMI se desea comprobar la lógica de navegación presentada en el Capítulo 4 mostrado en la Figura 4.25 para las pantallas del sistema Caza Lagarto – El Colorado mientras que para las pantallas del sistema El Ceibal – Azúa se muestra en la Figura 4.26. Además de mostrar la lógica de navegación también se puede apreciar el funcionamiento de botones e indicadores.

- **Simulación de pantallas para el sistema Caza Lagarto – El Colorado.**

Mediante el desarrollo de las interfaces y su lógica de navegación se ha comprobado el funcionamiento de las mismas, la Figura 181 muestra la pantalla principal de este sistema, la Figura 182 muestra la simulación de la pantalla Caza Lagarto, mientras que la Figura 183 muestra la pantalla Mocochal y por último la Figura 184 muestra la simulación de la pantalla Río de Oro.

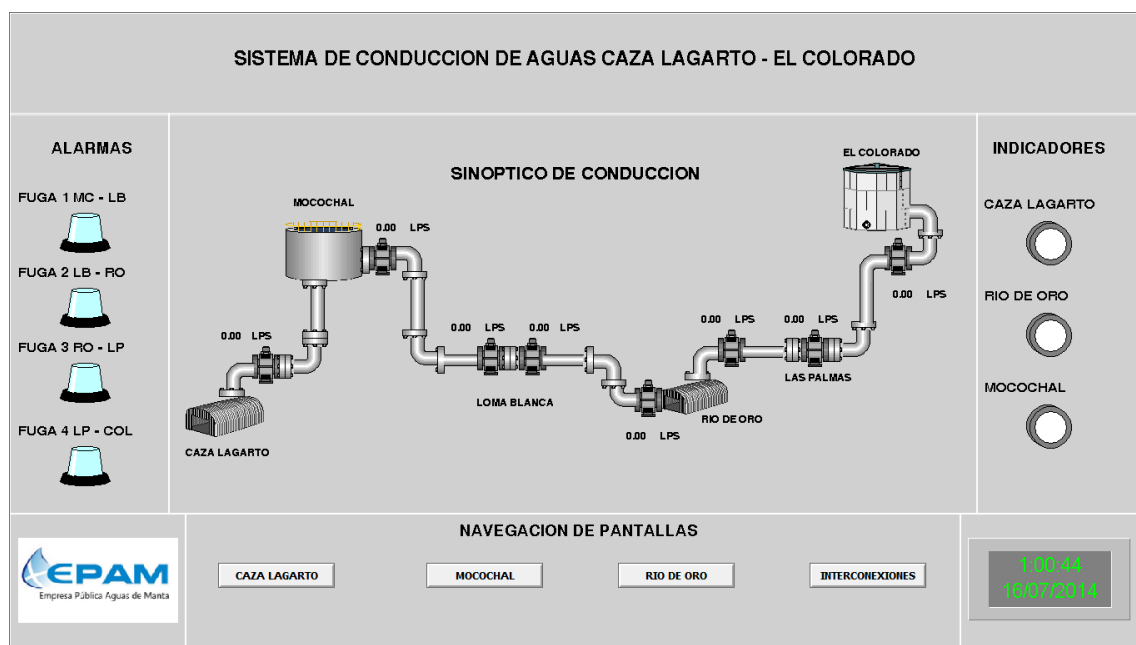


Figura 181. Simulación de pantalla principal para sistema Caza Lagarto - El Colorado

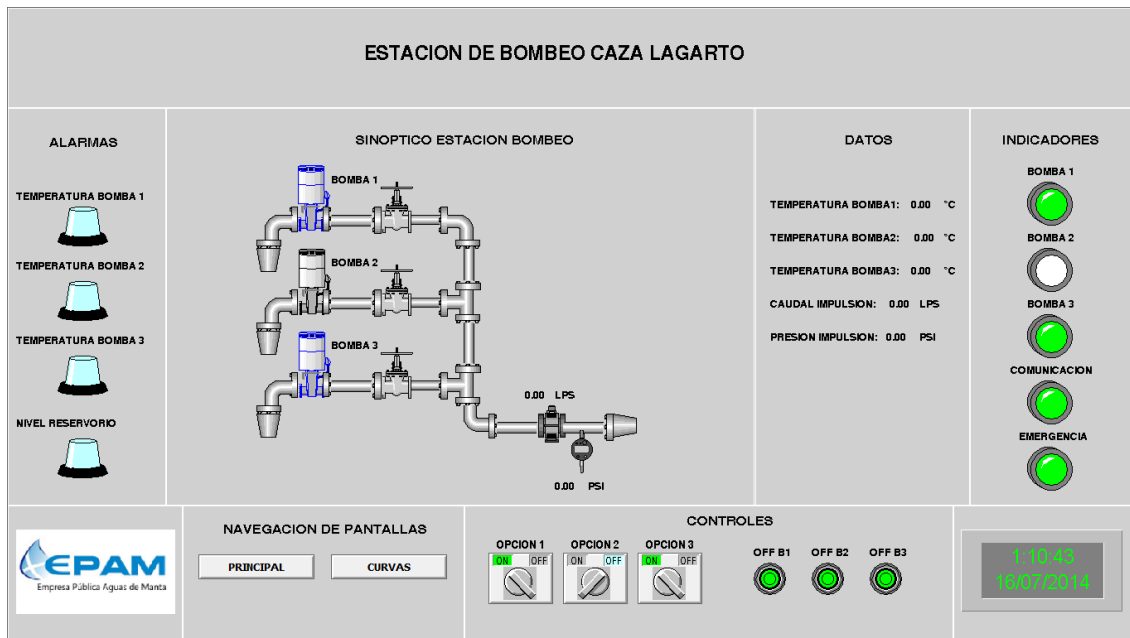


Figura 182. Simulación de pantalla Caza Lagarto

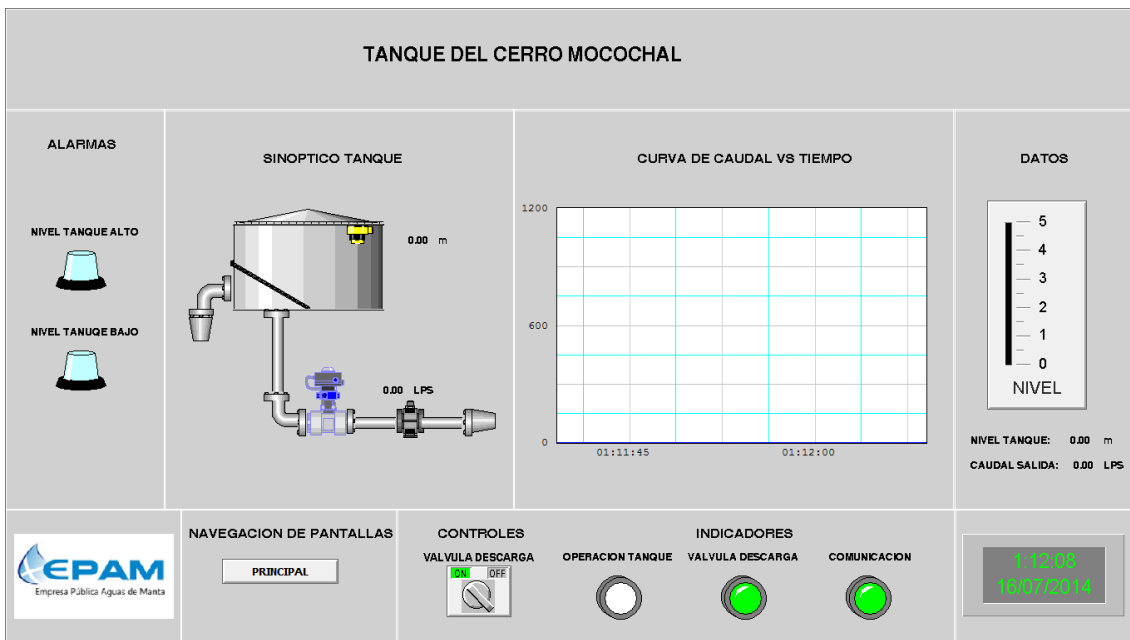


Figura 183. Simulación de pantalla Mocochal

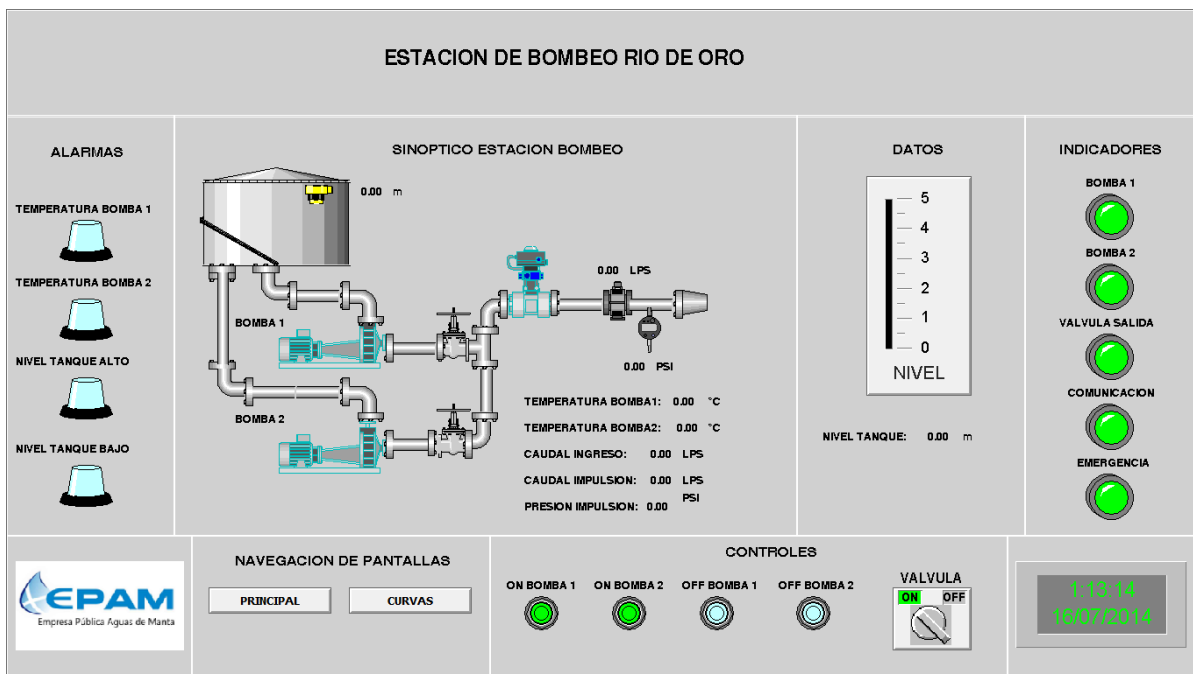


Figura 184. Simulación de pantalla Río de Oro

- **Simulación de pantallas para el sistema El Ceibal – Azúa.**

Mediante el desarrollo de las interfaces y su lógica de navegación se ha comprobado el funcionamiento de las mismas, la Figura 185 muestra la pantalla principal de este sistema, la Figura 186 muestra la simulación de la pantalla El Ceibal, mientras que la Figura 187 muestra la pantalla Cruz Verde y por último la Figura 188 muestra la simulación de la pantalla Intermedio.

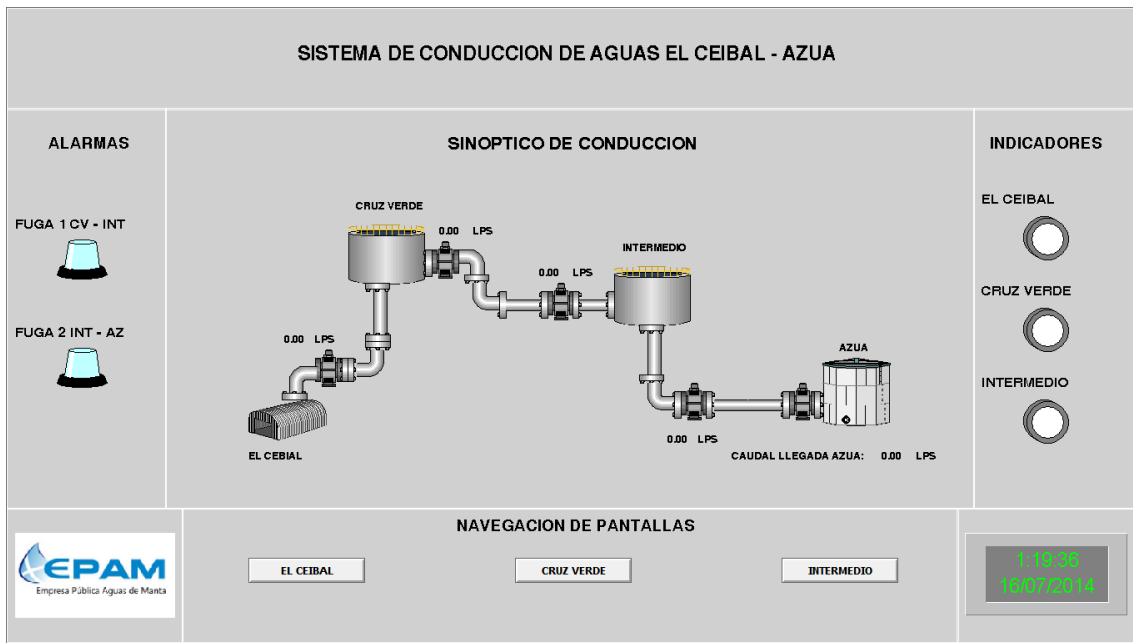


Figura 185. Simulación de pantalla principal para sistema El Ceibal – Azúa

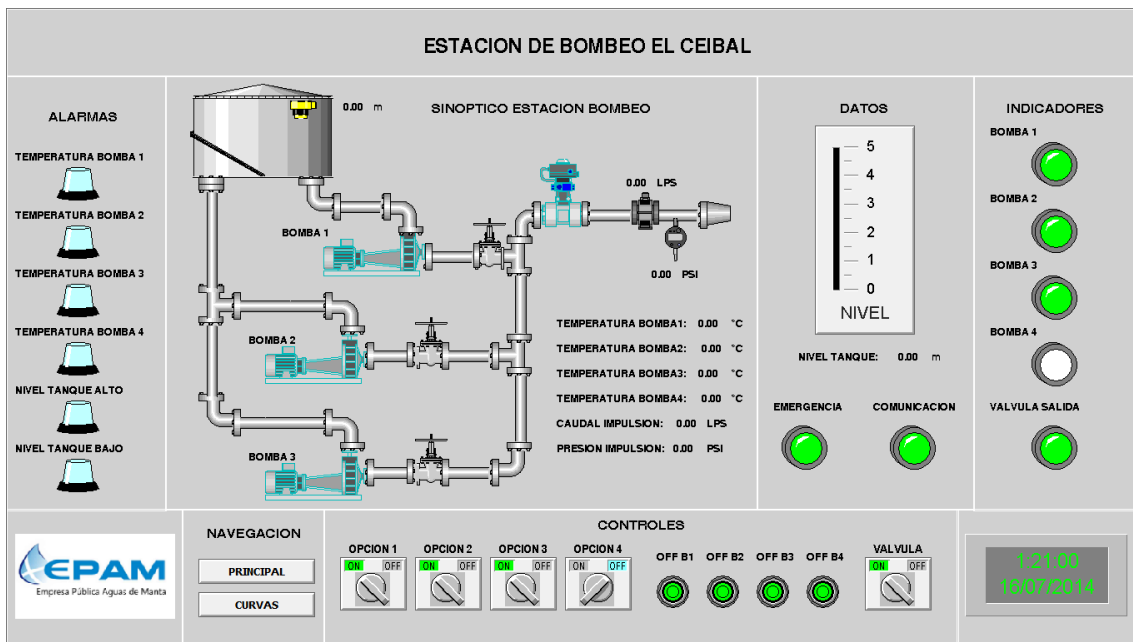


Figura 186. Simulación de pantalla El Ceibal

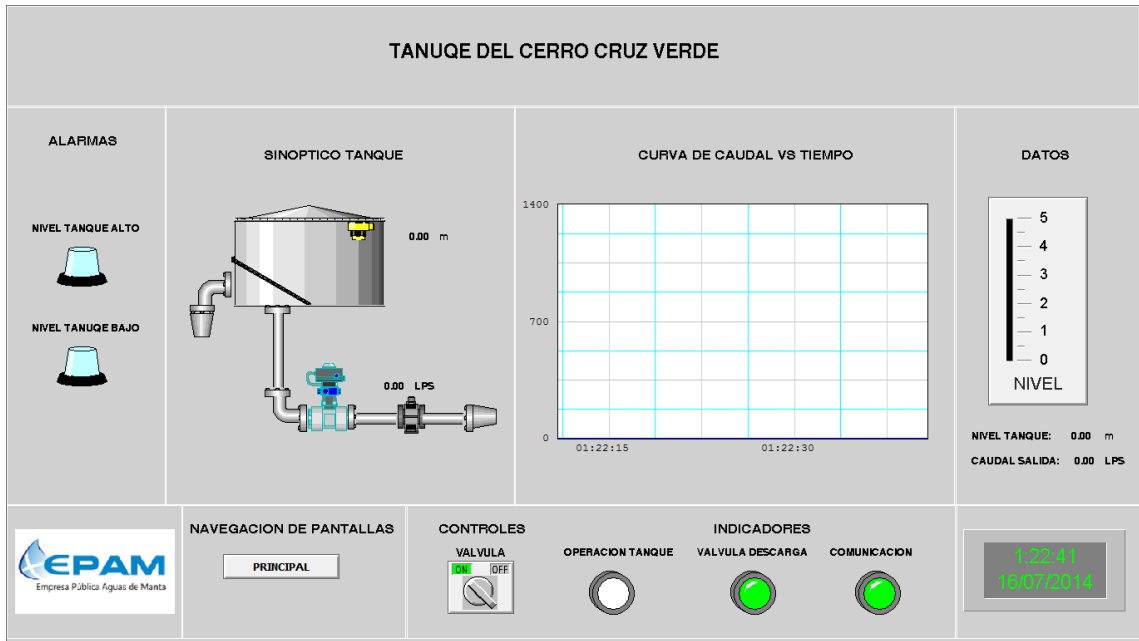


Figura 187. Simulación de pantalla Cruz Verde

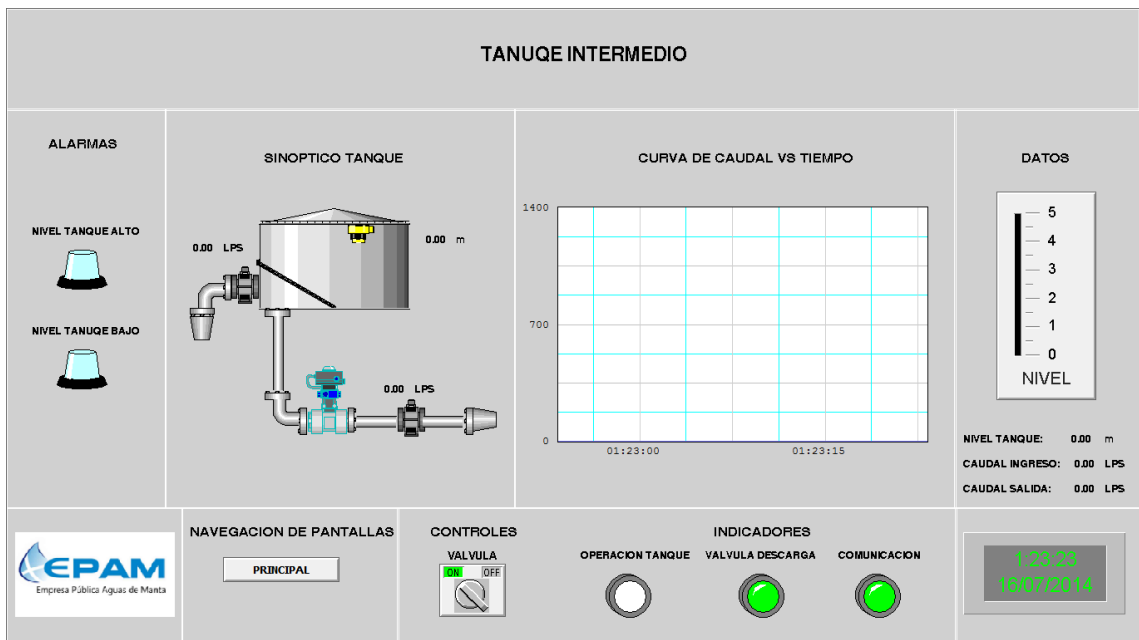


Figura 188. Simulación de pantalla Intermedio

CAPITULO 6

PRUEBAS Y RESULTADOS

6.1. Pruebas.

Las pruebas realizadas dentro de la elaboración de proyecto son orientadas al software de control y software de monitoreo desarrollados en los capítulos anteriores y a su vez probados mediante la simulación de cada proceso, no se realizan pruebas a nivel de implementación ya que este proyecto es de diseño. Por lo tanto para presentar las pruebas realizadas es necesario dividir las en dos partes.

- **Pruebas para el software y lógica del sistema de Control.**

Mediante la realización de programas en el software LabVIEW se ha probado la funcionalidad de lo diseñado, las pruebas realizadas son las siguientes.

- **Pruebas para lógica de control de la estación de bombeo El Ceibal.**

Se ha probado el funcionamiento del software de control tanto en modo manual como automática, para el modo manual se probó que mediante cuatro interruptores se puedan encender las cuatro bombas existentes al momento que se requiera de manera independiente entre los motores, pero siempre considerando que las mismas no pueden

operar si sus niveles de temperatura exceden los 155 °C o que el nivel del tanque de planta es inferior a 0.6 m.

Mientras que para las pruebas del modo automático, se probó que mediante cuatro botones se puede seleccionar cuatro diferentes opciones para la operación de las bombas, es decir para la primera opción funcionan B1-B2-B3, la segunda opción trabajan B1-B2-B4, tercera opción B1-B3-B4 y la cuarta opción funcionan las bombas B2-B3-B4 es importante destacar que el tiempo de encendido entre cada bomba para la simulación es de 1.5 segundos pero para la implementación debe ser de 30 segundos entre cada bomba. De igual manera que en el modo manual las bombas no pueden operar si la temperatura de los motores excede los 155 °C y el nivel del tanque es inferior a 0.6 m. Además de depender de la temperatura y nivel las opciones de operación en modo automático solo pueden ser activadas una a la vez si el operador desea usar más de una al mismo tiempo las bombas no podrán encender.

Si se desea apagar las bombas durante la operación en modo automático existe un botón para cada una de ellas los cuales pueden ser usados cuando el operador lo desee y trabajan independiente de las demás.

Dentro de la lógica de control se probó la funcionalidad de los indicadores de estado y alarmas del proceso como son indicadores lumínicos para cada bomba y las alarmas de nivel y temperatura conocidas para la estación de bombeo, los tiempos de activación para estos indicadores deben ser inmediatos lo cual se está cumpliendo, por último se confirmó que el uso del botón de emergencia para todo el proceso tanto para indicadores como bombas y alarmas mientras que solo se mantiene encendido un indicador de estado de emergencia.

– **Pruebas para lógica de control de la estación de bombeo Caza Lagarto.**

Se ha probado el funcionamiento del software de control tanto en modo manual como automática, para el modo manual se probó que mediante cuatro interruptores se puedan

encender las tres bombas existentes al momento que se requiera de manera independiente entre los motores, pero siempre considerando que las mismas no pueden operar si sus niveles de temperatura exceden los 200 °C o que el nivel de la represa donde se realiza la captación no descienda de 0.6 m.

Mientras que para las pruebas del modo automático, se probó que mediante tres botones se puede seleccionar tres diferentes opciones para la operación de las bombas, es decir para la primera opción funcionan B1-B2, la segunda opción trabajan B1-B3 y la tercera opción B2-B3 es importante destacar que el tiempo de encendido entre cada bomba para la simulación es de 1.5 segundos pero para la implementación debe ser de 30 segundos entre cada bomba. De igual manera que en el modo manual las bombas no pueden operar si la temperatura de los motores excede los 200 °C y el nivel de la represa es inferior a 0.6 m. Además de depender de la temperatura y nivel las opciones de operación en modo automático solo pueden ser activadas una a la vez si el operador desea usar más de una al mismo tiempo las bombas no podrán encender.

Si se desea apagar las bombas durante la operación en modo automático existe un botón para cada una de ellas los cuales pueden ser usados cuando el operador lo desee y trabajan independiente de las demás.

Dentro de la lógica de control se probó la funcionalidad de los indicadores de estado y alarmas del proceso como son indicadores lumínicos para cada bomba y las alarmas de nivel y temperatura conocidas para la estación de bombeo, los tiempos de activación para estos indicadores deben ser inmediatos lo cual se está cumpliendo, por último se confirmó que el uso del botón de emergencia para todo el proceso tanto para indicadores como bombas y alarmas mientras que solo se mantiene encendido un indicador de estado de emergencia.

– **Pruebas para lógica de control de la estación de bombeo Río de Oro.**

La lógica de control de la estación solo implica modo manual, ya que solo están presentes dos bombas, por lo tanto se ha probado en el programa desarrollada en LabVIEW que mediante dos interruptores se pueden encender las bombas y por intermedio de dos botones se las puede apagar, las bombas operan de manera independiente, la lógica también fue desarrollada para proteger la vida útil de las bombas por lo tanto siempre para poder ser activadas los niveles de temperatura no deben pasar de 200 °C y el nivel del tanque de almacenamiento en la estación debe ser superior a 0.6 m.

– **Pruebas para el control de fuga del Acueducto Caza Lagarto – El Colorado.**

La lógica de control para detección de fugas en la línea de conducción diseñada fue probada mediante un programa en LabVIEW el cual permite simular la lectura de los sensores de caudal ubicados en Caza Lagarto, Mocochal, Loma Blanca 1 y 2, Río de Oro 1 y 2, Las Palmas y El Colorado sumando un total de ocho sensores con un rango de medida de 0 a 1200 LPS, los tramos monitoreados para posibles fugas son:

- i. Mocochal – Loma Blanca, involucrados sensores de caudal MC y LB1.
- ii. Loma Blanca – Río de Oro, involucrados sensores de caudal LB2 y RO1.
- iii. Río de Oro – Las Palmas, involucrados sensores de caudal RO2 y LP.
- iv. Las Palmas – El Colorado, involucrados sensores de caudal LP y COL.

Suponiendo la existencia de una estación que recibe los valores de estos sensores, se determina que existe fuga si se cumple la condición que la diferencia de caudal entre los sensores es del 95 % durante un tiempo de tres segundos para la simulación y de cinco minutos en la implementación se considera fuga además de que el caudal debe ser superior a 50 LPS. Si ocurre una fuga en cualquier de los tramos mencionados se deberá encender un indicador lumínico de alarma que permite verificar este estado.

– **Pruebas para el control de fuga del Acueducto El Ceibal – Azúa.**

La lógica de control para detección de fugas en la línea de conducción diseñada fue probada mediante un programa en LabVIEW el cual permite simular la lectura de los sensores de caudal ubicados en El Ceibal, Cruz Verde, Intermedio 1 y 2 y Azúa sumando un total de cinco sensores con un rango de medida de 0 a 1400 LPS, los tramos monitoreados para posibles fugas son:

- i. Cruz Verde – Intermedio, involucrados sensores de caudal CV y INT1.
- ii. Intermedio – Azúa, involucrados sensores de caudal INT2 y AZ.

Suponiendo la existencia de una estación que recibe los valores de estos sensores, se determina que existe fuga si se cumple la condición que la diferencia de caudal entre los sensores es del 95 % durante un tiempo de tres segundos para la simulación y de cinco minutos en la implementación se considera fuga además de que el caudal debe ser superior a 50 LPS. Si ocurre una fuga en cualquier de los tramos mencionados se deberá encender un indicador lumínico de alarma que permite verificar este estado.

- **Pruebas para el software y lógica de sistema de Monitoreo.**

Para la simulación del software de monitoreo se desarrolló las pantallas a ser usadas en una futura implementación se pudo probar el funcionamiento de botones e interruptores así como indicadores y símbolos presentes en la interfaz simplemente para verificar la funcionalidad de los elementos seleccionados y que se encuentran presentes en la interfaz, por último para cada sistema de monitoreo tanto Caza Lagarto – El Colorado y El Ceibal – Azúa se pudo verificar la navegación entre las pantallas existentes llegando a la conclusión que se puede navegar entre cualquier ventana al momento que se desee y con la intención de poder monitorear el sistema desde un solo punto de la conducción. Las pantallas desarrolladas se presentan en la sección de anexos como ya se indicó en capítulos anteriores.

Dentro del alcance de este proyecto se propuso desarrollar el diseño de una base de datos para el sistema de automatización el cual como se indicó en el Capítulo 4 fue

desarrollado en SQL Server 2008 y las pruebas realizadas son orientadas al ingreso desde la interfaz datos de alarmas o el valor de caudal leído por cada sensor y controlador.

Se pudo comprobar el ingreso de datos para la tabla ALARMAS_FUGAS de la base de datos CAZA_COLORADO, la cual se aprecia en la Figura 189 destacando el registro de fugas en los tramos Mocochal – Loma Blanca y Loma Blanca – Río de Oro y se puede observar la Hora y Fecha en que ocurrió los eventos. Además se probó el ingreso de datos para la tabla ALRAMAS_NIVEL para este mismo sistema la cual se puede apreciar en la Figura 190 evaluando la Hora y Fecha del evento así como su tipo.

	ALA_F1	ALA_F2	ALA_F3	ALA_F4	HORA_F1	HORA_F2	HORA_F3	HORA_F4	FECHA_F1	FECHA_F2
7	Fuga en Tramo Mocochal - Loma Blanca		NULL	NULL	13:37:32	13:37:32	NULL	NULL	11/07/2014	11/07/2014
8	Fuga en Tramo Mocochal - Loma Blanca		NULL	NULL	23:15:12	23:15:12	NULL	NULL	14/07/2014	14/07/2014
9	Fuga en Tramo Mocochal - Loma Blanca		NULL	NULL	23:15:13	23:15:13	NULL	NULL	14/07/2014	14/07/2014
10	Fuga en Tramo Mocochal - Loma Blanca		NULL	NULL	23:15:13	23:15:13	NULL	NULL	14/07/2014	14/07/2014
11	Fuga en Tramo Mocochal - Loma Blanca		NULL	NULL	23:15:13	23:15:13	NULL	NULL	14/07/2014	14/07/2014
12		Fuga en el Tramo Loma Blanca - Rio de Oro	NULL	NULL	23:15:24	23:15:24	NULL	NULL	14/07/2014	14/07/2014
13	Fuga en Tramo Mocochal - Loma Blanca		NULL	NULL	23:15:25	23:15:25	NULL	NULL	14/07/2014	14/07/2014
14		Fuga en el Tramo Loma Blanca - Rio de Oro	NULL	NULL	23:17:04	23:17:04	NULL	NULL	14/07/2014	14/07/2014
15		Fuga en el Tramo Loma Blanca - Rio de Oro	NULL	NULL	23:19:52	23:19:52	NULL	NULL	14/07/2014	14/07/2014
16	Fuga en Tramo Mocochal - Loma Blanca		NULL	NULL	23:22:53	23:22:53	NULL	NULL	14/07/2014	14/07/2014

Figura 189. Pruebas de ingreso en la base de datos CAZA_COLORADO, de la tabla ALARMAS FUGAS

	ALA_MC_LAL	ALA_MC_LAH	A...	A...	A...	HORA_MCLAL	HORA_MCLAH	H...	HO...	H...	FECHA_MCLAL	FECHA_MCLAH
1	Nivel inferior a 0.6 m		N...	N	N..	10:39:53	10:39:53	N..	N...	N...	08/07/2014	08/07/2014
2	Nivel inferior a 0.6 m		N...	N	N..	10:39:53	10:39:53	N..	N...	N...	08/07/2014	08/07/2014
3	Nivel inferior a 0.6 m		N...	N	N..	10:39:53	10:39:53	N..	N...	N...	08/07/2014	08/07/2014
4		Nivel superior a 4.6 m	N...	N	N..	10:39:53	10:39:53	N..	N...	N...	08/07/2014	08/07/2014
5		Nivel superior a 4.6 m	N...	N	N..	10:39:53	10:39:53	N..	N...	N...	08/07/2014	08/07/2014
6		Nivel superior a 4.6 m	N...	N	N..	10:40:08	10:40:08	N..	N...	N...	08/07/2014	08/07/2014
7	Nivel inferior a 0.6 m		N...	N	N..	13:37:34	13:37:34	N..	N...	N...	11/07/2014	11/07/2014
8	Nivel inferior a 0.6 m		N...	N	N..	13:37:34	13:37:34	N..	N...	N...	11/07/2014	11/07/2014
9	Nivel inferior a 0.6 m		N...	N	N..	13:37:34	13:37:34	N..	N...	N...	11/07/2014	11/07/2014
10		Nivel superior a 4.6 m	N...	N	N..	13:37:34	13:37:34	N..	N...	N...	11/07/2014	11/07/2014

Figura 190. Pruebas de ingreso en la base de datos CAZA_COLORADO, de la tabla ALARMAS_NIVEL

También se logró probar la funcionalidad de la base de datos CEIBAL_AZÚA en la cual se verifico el ingreso de datos para la tabla ALARMAS_TEMPERATURA mostrado

en la Figura 191 donde se visualiza tanto el tipo de alarma como la hora y fecha del evento ocurrido. Por último se verifico el ingreso de datos en la tabla DATOS_CAUDAL de este sistema mostrando el valor del caudal medido así como la Hora y Fecha en que se registró la medida es prueba se la puede visualizar en la Figura 192.

ALA_ECET1	ALA_ECET2	A...	A...	HORA_ECET1	HORA_ECET2	H...	H...	FECHA_ECET1	FECHA_ECET2
Temperatura de bomba 1 superior a 155 C		N...	N...	16:58:15	16:58:15	N...	N...	08/07/2014	08/07/2014
Temperatura de bomba 1 superior a 155 C		N...	N...	16:58:15	16:58:15	N...	N...	08/07/2014	08/07/2014
Temperatura de bomba 1 superior a 155 C		N...	N...	16:58:15	16:58:15	N...	N...	08/07/2014	08/07/2014
	Temperatura de bomba 2 superior a 155 C	N...	N...	16:58:16	16:58:16	N...	N...	08/07/2014	08/07/2014
	Temperatura de bomba 2 superior a 155 C	N...	N...	16:58:16	16:58:16	N...	N...	08/07/2014	08/07/2014
Temperatura de bomba 1 superior a 155 C		N...	N...	23:34:24	23:34:24	N...	N...	14/07/2014	14/07/2014
	Temperatura de bomba 2 superior a 155 C	N...	N...	23:34:29	23:34:29	N...	N...	14/07/2014	14/07/2014
	Temperatura de bomba 2 superior a 155 C	N...	N...	16:58:16	16:58:16	N...	N...	08/07/2014	08/07/2014
	Temperatura de bomba 2 superior a 155 C	N...	N...	16:58:30	16:58:30	N...	N...	08/07/2014	08/07/2014

Figura 191. Prueba de ingreso de valores en la base de datos CEIBAL_AZÚA, de la tabla ALARMAS_TEMPERATURA

	CAUDAL_ECE	CAUDAL_CV	CA...	CA...	CA...	CAU_ECE_TIME	CAU_CV_TIME
99	652.0000000	720.5000000	N...	N...	N...	2014-08-07 00:00:00	2014-08-07 00:00:00
100	652.0000000	720.5000000	N...	N...	N...	2014-08-07 00:00:00	2014-08-07 00:00:00
101	652.0000000	720.5000000	N...	N...	N...	2014-08-07 00:00:00	2014-08-07 00:00:00
102	652.0000000	720.5000000	N...	N...	N...	2014-08-07 00:00:00	2014-08-07 00:00:00
103	652.0000000	720.5000000	N...	N...	N...	2014-08-07 00:00:00	2014-08-07 00:00:00
104	652.0000000	720.5000000	N...	N...	N...	2014-08-07 00:00:00	2014-08-07 00:00:00
105	652.0000000	720.5000000	N...	N...	N...	2014-08-07 00:00:00	2014-08-07 00:00:00
106	652.0000000	720.5000000	N...	N...	N...	2014-08-07 00:00:00	2014-08-07 00:00:00
107	652.0000000	720.5000000	N...	N...	N...	2014-08-07 00:00:00	2014-08-07 00:00:00
108	652.0000000	720.5000000	N...	N...	N...	2014-08-07 00:00:00	2014-08-07 00:00:00
109	652.0000000	720.5000000	N...	N...	N...	2014-08-07 00:00:00	2014-08-07 00:00:00

Figura 192. Prueba de ingreso de valores en la base de datos CEIBAL_AZÚA, de la tabla DATOS_CAUDAL

6.2. Resultados

Los resultados obtenidos durante el desarrollo de este proyecto están orientados a lo expuesto en el capítulo de Ingeniería de Detalle relacionado directamente con las pruebas desarrolladas en la simulación, por lo tanto los resultados obtenidos son los siguientes.

- i. **Lógica de control para estación de bombeo El Ceibal, Caza Lagarto y Río de Oro:** Los resultados obtenidos al realizar la simulación de la lógica de control desarrollada se comprueba el funcionamiento de cada elemento de mando presente en la interfaz y a su vez los que representan a los elementos que se deben encontrar en el tablero de control, la respuesta al accionamiento de cada uno de ellos es el esperado y los modos de mando Automático y Manual funcionan de la manera requerida comprobando que las bombas operan según lo diseñado o requerido por el operador.
- ii. **Lógica de control para la detección de fugas en los acueductos Caza Lagarto – El Colorado y El Ceibal – Azúa:** Los resultados obtenidos mediante las pruebas y desarrollo de la simulación para la lógica de control en detección de fugas determinan que la detección de fugas funciona de manera correcta y dentro de los tiempos establecidos para cada tramo dentro de la conducción de aguas pero siempre dependerá de la correcta lectura por parte de los sensores de caudal y de igual manera de la transmisión de los datos desde los puntos de medición hasta la estación central o inicial para poder valorar una posible fuga y poder actuar según el evento presentado.
- iii. **Funcionamiento y Navegación entre pantallas para el sistema de Supervisión y Monitoreo:** Los resultados obtenidos dentro de este sistema son el desarrollo de las pantallas así como su correcto funcionamiento tanto para elementos de mando como botones e interruptores de la interfaz, gráficos de tendencia en función del tiempo, indicadores lumínicos o botones de navegación. Llegando de esta manera a que este sistema se encuentra listo para la implementación pero será vital para su correcta operación que el sistema de

comunicación funciones según lo diseñado y permita la transmisión de información.

- iv. Desarrollo de la base datos para el sistema:** Las bases de datos que funcionan de manera íntegra con el sistema de monitoreo han sido desarrollada sus tablas y el control de ingreso de datos desde InTouch, presentado las pruebas del ingreso de datos en la sección anterior y a su vez determinando su correcto funcionamiento según lo esperado.

CAPITULO 7

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1. Conclusiones.

- Durante la actividad de recopilación de información se pudo comprobar que el funcionamiento del conjunto bomba – motor para las tres estaciones de bombeo es correcto tanto mecánica como eléctricamente, es decir las bombas funcionan de la manera requerida mientras que por otro lado se verificó que las tuberías, válvulas y tanques presentes a lo largo de la línea conducción presentan un deterioro normal debido a los años de uso pero sabiendo que todo se encuentra operativo para que este proyecto pueda ser implementado.
- Mediante el desarrollo de las ingenierías Básica y de Detalle para el sistema de instrumentación se comprobó la viabilidad de la implementación para este, determinando cuales son los sensores necesarios para la medición de Caudal a lo largo de la línea de conducción, medición de Nivel en cada tanque ya sea de almacenamiento o distribución, medida de presión en la tubería de impulsión para cada estación de bombeo y conocer las características de los sensores de temperatura instalados en cada motor, además se determinó que la respuesta idónea de cada sensor y su lectura con el controlador es de 4 – 20 mA, conociendo

que los rangos de medida son caudal 1200 y 0 - 1400 LPS, presión 0 – 600 PSI, nivel 0.25 – 5.0 m, mientras que los rangos de temperatura son de 20 – 250/300 °C.

- Al realizar las ingenierías básica y de detalle para el sistema de control, se concluyó que los controladores seleccionados deben poseer las siguientes interfaces: I/O Discretas, Entradas Analógicas y Comunicación Ethernet, con el objetivo de interactuar con los sensores y actuadores del sistema logrando la automatización en la línea de conducción.
- Los motores eléctricos para cada bomba realizan su arranque de la siguiente manera Caza Lagarto – Arrancadores suaves, Río de Oro – Variadores de Frecuencia y para la estación El Ceibal debe ser reemplazado el arranque por autotransformador a uno mediante arrancadores suaves, el uso de estos elementos permiten que los controladores puedan apagar o encender las bombas de manera segura cuando sea requerido sin correr riesgos de falla eléctrica o mecánicas.
- El control de fugas implica una comunicación entre controladores la cual debe transmitir información relevante de la medida de caudal desde los puntos de medida hacia una estación central ubicada al inicio de la conducción para un sistema Caza Lagarto y para el otro El Ceibal estas estaciones serán encargadas de evaluar las posibles fugas y emitir acciones de control como cierre de válvulas o paro de bombas.
- La propuesta de conectividad y comunicación para el sistema de automatización es totalmente viable y eficiente debido a que no se necesita la creación de una nueva infraestructura en cada punto de la red, aprovechando de esta manera la red pública que ofrece las operadoras celular, lo que implica un bajo costo de la red comparado con una totalmente privada, considerando estos parámetros se puede decir que la implementación de la red es amigable con el medio ambiente.

- El desarrollo de la ingeniería básica y de detalle del sistema de monitoreo ha permitido establecer que la supervisión de cada proceso se debe realizar mediante interfaces HMI las cuales operan desde un solo punto que este dentro de la red de datos hacia las demás estaciones existentes, por lo tanto se ha desarrollado interfaces que permiten la operatividad entre operarios y procesos.
- La red entre controladores es Ethernet/IP del tipo industrial la cual mediante los PLC seleccionados permiten realizar un intercambio de información de tipo Productor - Consumidor logrando de esta manera se tenga una relación única entre los controladores del sistema.
- El sistema de automatización es capaz de almacenar información deseada referente a alarmas o datos importantes dentro de una base de datos permitiendo generar estadística de lo ocurrido durante un rango de tiempo en los procesos involucrados en la conducción, los datos que son almacenados en esta base también están involucrados en un sistema generador de reportes el cual de manera automática almacena esta información y en un tiempo programado puede ser desplegada para el análisis de la misma.
- Mediante la realización de la simulación se logró comprobar la funcionalidad y eficacia de lo desarrollado tanto para control como monitoreo evaluando lo cual se ha verificado en la sección de pruebas y resultados.
- El proyecto realizado puede ser implementado en base a lo diseñado para lo cual se ha elaborado todo tipo de mapas y diagramas como P&ID, unifilares eléctricos, montaje y ubicación, manuales de configuración y programación tanto para sensores como controladores presentando el software de control ya configurado así como la interfaces elaboradas y listas para la implementación, toda esta información puede ser encontrada en la sección de anexos.

7.2. Recomendaciones.

- En el caso de una futura implementación es recomendable que el trabajo de instalación y puesta en marcha del sistema se lo haga con ayuda de los operadores de cada estación de bombeo, lo cual ayudara mucho a que el personal aprenda y conozca las ventajas o funciones del sistema.
- Se recomienda que los sensores de caudal seleccionados para la toma de esta medida trabajen con el mismo rango de medida sin importar el diámetro de la tubería donde serán instalados, esto es de gran ayuda para la detección de fugas.
- La respuesta o señal de salida para los sensores seleccionados es recomendable que sea del tipo analógica en corriente continua ya sea de voltaje o corriente siendo la ultima la seleccionada para el diseño con un rango de 4 – 20 mA.
- Las bombas actualmente instaladas y su sistema de arranque tanto para Caza Lagarto como Río de Oro funcionan de manera adecuada pero es altamente recomendable para el funcionamiento del sistema retirar el sistema de arranque por autotransformador de El Ceibal y reemplazarlo por arrancadores suaves.
- Las válvulas de salida ubicadas en la tubería de impulsión de las estaciones de bombeo El Ceibal y Río de Oro son difíciles de operar ya que las presiones de trabajo existentes dificultan el mando manual de las mismas, por lo cual es recomendable reemplaza el modo de maniobra por un actuador eléctrico el cual permite además de facilidad de operación integrar las válvulas al sistema de automatización, estos actuadores también deben ser colocados en las válvulas de descarga de los tanques Mocochal, Cruz Verde e Intermedio.
- Como se mostró en el desarrollo del sistema de monitoreo el uso de símbolos en las interfaces HMI que representen los elementos existentes como bombas, válvulas, tanques y tuberías ayuda bastante a la interpretación del proceso, por lo

tanto es recomendable verificar el funcionamiento real de manera paralela con el de las interfaces.

- De ser necesario para una futura expansión del proyecto o la instalación de sensores así como de actuadores para válvulas es recomendable que los módulos de entradas y salidas para los PLC tengan puertos libres o los seleccionados posean más de los puertos mínimos necesarios para este proyecto.
- Conociendo las altas presiones de trabajo en este sistema es importantísimo que al momento de apagar las bombas en operación ya sea de manera programada o por emergencia estas tengan una curva de desaceleración lenta lo cual evitara el golpe de ariete en las unidades de bombeo.
- Al realizar la propuesta de conectividad se recomienda que de ser el caso de implementación del proyecto se siga lo expuesto en este proyecto lo cual ayudara a reducir cualquier tiempo de instalación así como el valor económico de la misma.
- Para las estaciones de bombeo El Ceibal y Río de Oro es importante verificar el funcionamiento de las válvulas Check ubicadas a la salida de cada grupo de bombeo ya que estas están dejando regresar una pequeña cantidad de líquido y se debe estudiar un posible reemplazo de las mismas.
- Valorando las posibilidades y funcionalidades del desarrollo de este proyecto, se recomienda la implementación del mismo ya que esto ayudara a la EPAM a evitar todo tipo de pérdida en el proceso de la conducción, así como posibles daños en el medio ambiente y terceros ocasionados por el derrame de agua.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

(s.f.).

ABB. (2003). *Sofstartes, Type SSM, Medium Voltage, 200 - 7500 HP*. Wichita Falls.

Bosch, S. (2002). *Análisis de redes y sistemas de comunicaciones*. Barcelona: Ediciones UPC.

Bradley, A. (2008). *Solid State - Pressure Sensors, User Manual 836 E*. Milwaukee.

Cisco. (2013). *IE3000, Switch Hardware Installation Guide*. San Jose.

COESTER. (2009). *Actuadores Electricos*. San Leopoldo.

Creus, A. (1997). *Instrumentacion Industrial*. (MARcombo, Ed.) Barcelona: Alfaomega.

David Bailey, E. W. (2003). *Practical SCADA for industry*. Burlington: Elsevier Editorial.

Electric, G. (2012). *GE Digital Energy*. Obtenido de MDS Orbit Plattform:
<http://www.gedigitalenergy.com/app/Resources.aspx?prod=MDSOrbit&type=1>

EPAM. (2012). *Empresa Publica Aguas de Manta*. Manta.

Felices, A. R. (2012). *Hidraulica de Tuberias y Canales*. Lima: Universidad Nacional de Ingenieria.

Google. (2014). Google Earth. USA.

Invensys. (2012). *Software Invensys*. Obtenido de Wonderware:
<http://software.invensys.com/products/wonderware/hmi-and-supervisory-control/intouch/>

ISM, M. (2012). <http://microondasism.blogspot.com/>. Obtenido de <http://microondasism.blogspot.com/2012/10/bandaism-lasbandas-ism-industrial.html>

Ogata, K. (1998). *Ingenieria de control moderno*. Minneapolis: Pearson.

Orellana, J. A. (2005). *Ingenieria Sanitaria*. Rosario: UTN - FRRO.

Roca, F. (1998). *Oleo Hidraulica Basica y diseño de Circuitos*. Barcelona: Ediciones UPC.

Rockwell. (2009). *Rockwell Automation*. Obtenido de Networks and Communications:
<http://ab.rockwellautomation.com/es/networks-and-communications/ethernet-ip-network#/>

Rockwell. (2011). *Logix 5000 Controller Produced and Consumed Tags*.

Rockwell. (2011). *Rockwell Automation*. Obtenido de Rockwell Software:
<http://www.rockwellautomation.com/rockwellsoftware/performance/view/overview.page>

Rockwell, A. B. (2008). *Solid State Pressure Sensor 836E*. Milwaukee: Rockwell Automation.

Schneider. (2009). *Altivar 61 Programming Manual*.

Schneider. (2012). *Interruptores Electricos*.

SIEMENS. (2006). *SITRANS F US SONOFLO ULTRASONIC FLOW METER*.

Sparling. (2002). *Installation, Operation & Maintenance Manual FM656*. Sparling.

Trujillo, E. (2006). *Biblioteca digital EPN*. Obtenido de
<http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/214/1/CD-0210.pdf>

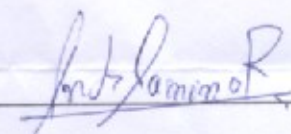
Vicente Guerrero, L. M. (2009). *Comunicaciones Industriales*. Barcelona: Alfaomega.

ACTA DE ENTREGA

El proyecto de grado denominado "*Ingeniería Conceptual, Básica y de Detalle para la Automatización del Sistema de Conducción de Aguas de la EPAM*", fue entregado al Departamento de Eléctrica y Electrónica y reposa en la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE, desde:

Sangolquí, 23 de Febrero de 2015

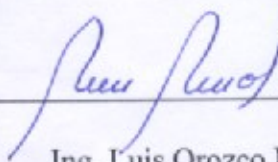
ELABORADO POR:



Andrés Fernando Camino Romero

1723545958

AUTORIDAD:



Ing. Luis Orozco Msc.



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