



DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA E
INSTRUMENTACIÓN**

**TRABAJO DE TITULACIÓN, PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO EN ELECTRÓNICA E INSTRUMENTACIÓN**

**TEMA: AUTOMATIZACIÓN DE LA ESTACIÓN DE BOMBEO LA
PENÍNSULA EP-EMAPA-A, PARA UN USO EFICIENTE DEL RECURSO
HÍDRICO Y DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA.**

**AUTORES: BALSECA RUIZ, JHON ALEX
CASTRO MEDINA, BRYAN JAVIER**

DIRECTOR: ING: ÁVILA ROSERO, GALO RAÚL

LATACUNGA

2019



**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA E INSTRUMENTACIÓN**

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, ***“AUTOMATIZACIÓN DE LA ESTACIÓN DE BOMBEO LA PENÍNSULA EP-EMAPA-A, PARA UN USO EFICIENTE DEL RECURSO HÍDRICO Y DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA.”*** fue realizado por los señores: ***Balseca Ruiz, Jhon Alex*** y ***Castro Medina, Bryan Javier***, el mismo que ha sido revisado en su totalidad y analizado por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustenten públicamente.

Latacunga, 13 de noviembre del 2019

Ing. Ávila Rosero, Galo Raúl

C.C.: 0501156061



DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA E INSTRUMENTACIÓN

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Nosotros, *Balseca Ruiz, Jhon Alex* y *Castro Medina, Bryan Javier*, declaramos que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: *“Automatización de la estación de bombeo La Península EP-EMAPA-A, para un uso eficiente del recurso hídrico y de la energía eléctrica.”* es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Consecuentemente el contenido de la investigación mencionada es veraz.

Latacunga, 13 de noviembre del 2019

Balseca Ruiz, Jhon Alex

C.C.: 0803592716

Castro Medina, Bryan Javier

C.C.: 1723151344



**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA DE INGENIERÍA DE ELECTRÓNICA E INSTRUMENTACIÓN**

AUTORIZACIÓN

*Nosotros, **Balseca Ruiz, Jhon Alex** y **Castro Medina, Bryan Javier**, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación “**Automatización de la estación de bombeo La Península EP-EMAPA-A, para un uso eficiente del recurso hídrico y de la energía eléctrica.**” en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad.*

Latacunga, 13 de noviembre del 2019

Balseca Ruiz, Jhon Alex

C.C.: 0803592716

Castro Medina, Bryan Javier

C.C.: 1723151344

DEDICATORIA

“Haz las cosas con pasión o mejor no las hagas”

Anónimo

Dedico este trabajo que pone fin a mi etapa universitaria a mi madre Blanca Medina y a mi padre Carlos Castro que siempre se han esforzado y sacrificado, para sacar adelante a sus hijos, así entregándome todo su apoyo incondicional, para cumplir mis metas académicas. El mejor regalo que puedo dar a mis padres, es demostrarles que todo el sacrificio que han hecho valió la pena. A mis hermanas Alexandra Castro y Anabella Castro por compartir los buenos y malos momentos que forman parte de mi vida; Las quiero demasiado.

Bryan Javier Castro Medina

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de finalización de mi etapa universitaria a todas las personas que me han apoyado en especial mis familiares, a mi padre Hugo Balseca quien fue un sostén incondicional durante todo este camino recorrido, a mi hermano Javier Balseca por ser la inspiración y la fortaleza para culminar mis estudios, a mis abuelos, tías y primos por darme la acogida y el soporte para seguir adelante y sobre todo a mi madre Mariana Ruíz quien dio su vida para que no nos falte nada y hacer posible que este proyecto se realice.

Jhon Alex Balseca Ruiz

AGRADECIMIENTO

Agradezco a mis padres quienes luchan por mi bienestar, mi educación y mi salud; soy quien soy gracias a ellos, les agradeceré siempre y amaré toda mi vida. A Dios por darme la vida y todo lo que tengo. A mi maestro Ing. Galo Ávila por su colaboración y orientación para cumplir el presente trabajo.

A los ingenieros Paul Navarrete y Luis Curipoma personal del área de mantenimiento de sistemas electromecánicos por abrirnos las puertas y brindarnos asesoría técnica necesaria para realizar este proyecto.

Bryan Javier Castro Medina

AGRADECIMIENTO

Agradezco a todas las personas que directa o indirectamente me han apoyado a culminar el presente trabajo.

Un agradecimiento especial tanto para los ingenieros Paul Navarrete, Luis Curipoma y Galo Ávila miembros de las instituciones de la empresa EMAPA y de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPEL respectivamente, por ser un pilar fundamental para que este proyecto culmine con éxito.

Jhon Alex Balseca Ruiz

ÍNDICE DE CONTENIDO

CARÁTULA

CERTIFICACIÓN	i
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD	ii
AUTORIZACIÓN	iii
DEDICATORIA	iv
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTO	vi
AGRADECIMIENTO	vii
ÍNDICE DE CONTENIDO	viii
ÍNDICE DE TABLAS	xvii
ÍNDICE DE FIGURAS	xxi
RESUMEN	xxxii
ABSTRACT	xxxiii

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. Planteamiento del problema.....	1
1.2. Antecedentes	2
1.3. Justificación e importancia.....	2
1.4. Objetivos	3

1.4.1.	Objetivo General	3
1.4.2.	Objetivos Específicos.....	3
1.5.	VARIABLES DE LA INVESTIGACIÓN	4
1.5.1.	Variable Independiente	4
1.5.2.	Variable Dependiente.....	4
1.6.	Hipótesis	4

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1.	Fuentes de abastecimiento de agua	5
2.2.	Estaciones de Bombeo	5
2.2.1.	Estación de Bombeo la Península	5
2.3.	Automatización Industrial.....	6
2.3.1.	Pirámide de la Automatización	6
a)	Nivel de campo (Nivel 1).....	7
b)	Nivel de proceso (Nivel 2).....	7
c)	Nivel de Célula (Nivel 3).....	7
d)	Nivel de Planeación y control de la producción (Nivel 4).....	8
e)	Nivel de gestión (Nivel 5).....	8

2.4.	Redes de Comunicación Industrial	9
2.4.1.	Comunicaciones Industriales	9
2.4.2.	Sistemas de control en una red de comunicación industrial	9
a)	Sistema Centralizado	9
b)	Sistema Distribuido.....	10
2.4.3.	Buses de Campo.....	12
2.4.4.	Protocolo de comunicación MODBUS.....	12
a)	Modos de transmisión en MODBUS	14
b)	Modelo de datos MODBUS.....	14
2.4.5.	Redes Inalámbricas	15
a)	Tecnología LoRAWAN	16
b)	Tecnología LoRa.....	18
2.5.	Variador Altivar Process ATV630D75N4.....	19
2.5.1.	Principales características técnicas ATV630D75N4	20
2.6.	PLC AB MICRO 850 2080-LC50-24QWB	22
2.6.1.	Descripción general del controlador Micro850	23
2.6.2.	Módulo enchufable puerto serie aislado RS232/485 Micro800.....	25
2.6.3.	Módulo enchufable 2085 –IF4.....	26

2.7.	Powerlogic PM5500.....	27
2.8.	Microcontrolador RobotDyn ATmega2560.....	28
2.9.	US Motors HO75S1SLG	30
2.10.	PanelView 800	31
2.10.1.	Partes.....	32
2.10.2.	Especificaciones técnicas.....	33
2.11.	Medidor Electromagnético M2000	34
a)	Funcionamiento.....	36
b)	Dimensiones del Medidor-M2000	36
2.12.	Sensor de distancia ultrasónico TSPC SENIX.....	37
2.12.1.	Sensor SENIX TSPC-30S1-485	39
2.12.2.	Sensor SENIX TSPC-15S-485	40
2.13.	Transmisor de presión Autonics TPS20-G17P2-00.....	42
2.14.	Modulo inalámbrico E32-TTL-1W(433T30D).....	43
2.15.	Unidad de Suministro de Energía UPRS1508	45
2.16.	Transformador Seco 9T58K2813.....	46
2.17.	Descargadores de Sobretensiones HAW.....	47
2.17.1.	HAW 560.....	47

2.17.2.	HAW 561	48
2.18.	Software Connected Components Workbench	49
2.19.	PV800 DesignStation.....	50
2.20.	Blender 2.79	51
2.21.	Entorno IDE Arduino.....	52
2.22.	Software AutoCAD.....	53
2.23.	Software SenixVIEW.....	55
2.24.	Software EBYTE	57
2.25.	Software Proteus	58
2.25.1.	ISIS	58
2.25.2.	Ares	59
2.26.	SoMove 2.6.....	60

CAPÍTULO III

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN

3.1.	Elaboración de los planos eléctricos de los tableros industriales.....	63
3.2.	Conexión de las instalaciones eléctricas y electrónicas.	63
3.2.1.	Conexión de las instalaciones en el tanque de almacenamiento.....	64
a)	Puesta a tierra del tablero de control.....	70

b)	Cableado del sensor TSPC-15S-485	72
c)	Montaje y cableado de los elementos que forman parte del tablero de control del tanque de almacenamiento.	74
3.2.2.	Conexión de las instalaciones eléctricas y electrónicas en la estación de bombeo La Península.	76
a)	Instalación del sensor de nivel ultrasónico en el tanque de succión.	85
b)	Reubicación de las tuberías eléctricas instaladas en la estación	87
c)	Montaje y cableado de los elementos que forman parte del tablero fuerza y control de la estación.	89
d)	Instalación del nuevo tablero de fuerza y control en la estación de bombeo.....	92
3.3.	Diseño y construcción del enlace inalámbrico de radiofrecuencia	95
3.3.1.	Diseño de hardware.....	96
a)	Análisis de las posibles soluciones.	96
b)	Justificación de la alternativa seleccionada.	97
3.4.	Diseño y levantamiento del mapa de comunicaciones.....	108
3.4.1.	Diseño y levantamiento del mapa de comunicaciones en la estación de bombeo	108
a)	Conexión y configuración del Powerlogic PM5500	117

b)	Conexión y configuración del Badger Meter M2000	123
c)	Conexión y configuración del sensor TSPC-30S1-485	127
d)	Configuración sensor TSPC-30S1-485 mediante el software TSPC-30S1-485	127
e)	Enlace del sensor TSPC-30S1-485 con el PLC AB MICRO 850.	128
f)	Conexión y configuración del Variador Altivar Process ATV630D75N4	130
i)	Conexión y configuración del nodo AVR.....	144
k)	Conexión del sensor Autonics TPS20-G17P2-00.....	151
l)	Conexión y configuración del terminal PanelView 800	153
3.4.2.	Diseño y levantamiento de las comunicaciones en el tanque de almacenamiento	155
a)	Conexión y configuración del sensor TSPC-15S1-485	156
b)	Enlace del sensor TSPC-15S1-485 con el PLC AB MICRO 850.	157
c)	Conexión y configuración del nodo AVR.....	160
3.5.	Implementación de lógicas de control de la estación de bombeo la Península	166
3.5.1.	Análisis de las condiciones de funcionamiento del sistema	166
3.5.2.	Filosofía de Operación	168
3.5.3.	Implementación del control automático.....	169

3.6.	Diseño de la interfaz de las pantallas HMI PanelView 800.....	171
3.6.1.	Diseño tridimensional de las instalaciones físicas de la estación de bombeo.....	172
3.6.2.	Direccionamiento de las variables del PanelView 800 con el PLC micro 850.....	174
3.6.4.	Configuración de las alarmas globales.....	175

CAPÍTULO IV

PRUEBAS Y RESULTADOS DEL PROYECTO

4.1.	Instalaciones eléctricas y electrónicas	177
4.1.1.	Instalaciones eléctricas y electrónicas implementadas en el tanque de almacenamiento.	177
4.1.1.	Instalaciones eléctricas y electrónicas implementadas en la estación.	179
4.2.	Validación de las comunicaciones del sistema implementado	182
4.2.1.	Pruebas de comunicación de la red MODBUS RTU.....	182
4.2.2.	Pruebas de la comunicación inalámbrica LORA.	188
4.3.	Pruebas de funcionamiento del sistema implementado.	192
4.3.1.	Modos de Operación	192
a)	Local-Manual:.....	193

b)	Local-Automático:	193
c)	Remoto-Manual:	195
d)	Remoto-Automático:.....	195
4.3.2.	Control Automático:	198
4.4.	Validación de la hipótesis	199

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1.	Conclusiones	202
5.2.	Recomendaciones	203

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	205
---	------------

ANEXOS	212
---------------------	------------

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Modelo de datos MODBUS.	14
Tabla 2. Características técnicas ATV630D75N4.....	20
Tabla 3. Descripción del controlador.....	24
Tabla 4. Datos técnicos 2080-LC50-24QWB.....	25
Tabla 5. Características principales PM5500	27
Tabla 6. Especificaciones microcontrolador RobotDyn ATmega2560.....	29
Tabla 7. Características US Motors HO75S1SLG	31
Tabla 8. Especificaciones técnicas PanelView 800 2711R-T7T	33
Tabla 9. Especificaciones Técnicas Medidor -M2000	35
Tabla 10. Características técnicas del Sensor TSPC-30S1-485	39
Tabla 11. Clasificación de los Cables del Sensor TSPC-30S1-485	40
Tabla 12. Ficha Técnica del Sensor TSPC-15S-485	40
Tabla 13. Clasificación de los Cables del Sensor TSPC-15S-485	41
Tabla 14. Características Técnicas del Sensor TPS20-G17P2-00.....	42
Tabla 15. Características Técnicas del Módulo E32-TTL-1W(433T30D).....	43
Tabla 16. Modos de Operación del Módulo E32-TTL-1W (433T30D).....	44
Tabla 17. Características de la unidad UPRS1508	45

Tabla 18. Características del Transformador 9T58K2813.	47
Tabla 19. Características principales HAW 561	49
Tabla 20. Configuración de los parámetros de comunicación del puerto cinco.....	113
Tabla 21. Configuración de los parámetros de comunicación del puerto dos.	114
Tabla 22. Parámetros de la instrucción de comunicación del bloque MSG_MODBUS.	115
Tabla 23. Parámetros para el tipo de datos MODBUSLOCPARA.	116
Tabla 24. Parámetros para el tipo de datos MODBUSTARPARA.	117
Tabla 25. Terminales puerto RS-485 del Powerlogic PM5500.....	118
Tabla 26. Mapa de comunicaciones del Powerlogic PM5500.....	120
Tabla 27. Valores de las variables del bloque de lectura del Powerlogic PM5500.....	121
Tabla 28. Matriz de lectura LocalAL_PM.....	122
Tabla 29. Terminales tarjeta hija Badger Meter M2000.....	123
Tabla 30. Mapa de comunicaciones del Badger Meter M2000.....	125
Tabla 31. Valores de las variables del bloque de lectura del Badger Meter M2000.	126
Tabla 32. Matriz de lectura LocalAddr_MM.	127
Tabla 33. Mapa de comunicaciones del sensor TSPC-30S1-485.....	128
Tabla 34. Valores de las variables del bloque de lectura del Senix TSPC-30S1-485.	129
Tabla 35. Matriz de lectura LocalAL_SX	130

Tabla 36. Configuración de los parámetros del motor US Motors HO75S1SLG.	131
Tabla 37. Configuración del menú comando y referencia.....	131
Tabla 38. Mapeo de bits de la Control Word.	134
Tabla 39. Mapeo de bits de la Status Word.	134
Tabla 40. Distribución de pines del conector RJ45 del variador.	137
Tabla 41. Parámetros de comunicación MODBUS RTU del variador.....	138
Tabla 42. Mapa de comunicaciones del Variador Altivar Process ATV630D75N4.....	139
Tabla 43. Valores de las variables del bloque de lectura_0 del variador.	140
Tabla 44. Matriz de lectura_0 LocalAL_ATV.	141
Tabla 45. Valores de las variables del bloque de lectura_1 del variador.	142
Tabla 46. Matriz de lectura_1 LocalAddr.....	142
Tabla 47. Valores de las variables del bloque de escritura del variador.....	143
Tabla 48. Matriz de escritura LocalAE_ATV.	144
Tabla 49. Pines de conexión del terminal MODBUS RTU del nodo AVR.	144
Tabla 50. Configuración de los pines del puerto serial integrado del PLC.	145
Tabla 51. Mapa de comunicaciones del nodo AVR.	146
Tabla 52. Valores de las variables del bloque de lectura del nodo AVR.	148
Tabla 53. Matriz de lectura LocalAL_AVR.	149

Tabla 54. Valores de las variables del bloque de escritura del nodo AVR.	150
Tabla 55. Matriz de escritura LocalAE_AVR.	151
Tabla 56. Valores de las variables del bloque de lectura del Senix TSPC-15S1-485.	158
Tabla 57. Matriz de lectura LocalAL_SXT.	159
Tabla 58. Mapa de comunicaciones del nodo AVR.	160
Tabla 59. Valores de las variables del bloque de lectura del nodo AVR del tanque.	163
Tabla 60. Matriz de lectura LocalAL_AVR.	164
Tabla 61. Valores de las variables del bloque de escritura del nodo AVR.	165
Tabla 62. Matriz de escritura LocalAE_AVR tanque.	166
Tabla 63. Parámetros del bloque HYSTER.	170
Tabla 64. Mapa de etiquetas externas.	174
Tabla 65. Configuración de alarmas globales.	176

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación de la estación de bombeo La Península, ciudad de Ambato.....	6
Figura 2. Pirámide de la Automatización	7
Figura 3. Modelo de integración de Schneider Electric.	9
Figura 4. Control Centralizado.....	10
Figura 5. Sistema de control distribuido.....	12
Figura 6. Ejemplo de la arquitectura MODBUS	14
Figura 7. Protocolo de red LoRaWAN.....	16
Figura 8. Estructura clásica de una red LoRaWAN.	17
Figura 9. Aplicaciones estándar LoRaWAN.	18
Figura 10. Ejemplo de conexión LoRa punto a punto.....	19
Figura 11. Variador ATV630D75N4.	20
Figura 12. Micro850 2080-LC50-24QWB.....	23
Figura 13. Descripción general del controlador.	24
Figura 14. Módulo 2080-SERIALISOL.....	26
Figura 15. Módulo enchufable 2085 –IF4.....	26
Figura 16. Powerlogic PM5500.....	27
Figura 17. Microcontrolador RobotDyn ATmega2560.....	29

Figura 18. US Motors HO75S1SLG.	30
Figura 19. Terminal gráfico PanelView 800.	32
Figura 20. Partes de la PanelView 800 2711R-T7T Fuente: (Rockwell Automation, 2018)...	32
Figura 21. Medidor-M2000.	34
Figura 22. Composición del medidor.	35
Figura 23. Funcionamiento del sensor.	36
Figura 24. Dimensiones del Medidor-M2000.	37
Figura 25. Gama de Sensores SENIX.	37
Figura 26. Botón trasero del Sensor Fuente: (SENIX, 2015).....	38
Figura 27. Indicadores traseros del Sensor.....	38
Figura 28. Orientación del Sensor.....	39
Figura 29. Transmisor de Presión TPS20-G17P2-00.....	42
Figura 30. Módulo E32-TTL-1W(433T30D).....	43
Figura 31. Unidad UPRS1508.....	45
Figura 32. Transformador 9T58k2813.	46
Figura 33. HAW 560.....	48
Figura 34. HAW 561.....	48
Figura 35. Interfaz del software Connected Components Workbench.	50

Figura 36. Interfaz software PV800 DesignStation.....	51
Figura 37. Interfaz software Blender 2.79 Fuente: (blender.org).....	52
Figura 38. Entorno de desarrollo integrado (IDE).....	53
Figura 39. Herramienta AutoCAD.	54
Figura 40. Menú de AutoCAD.	54
Figura 41. Software SenixView.	56
Figura 42. Conexión sensor SENIX	57
Figura 43. Software EBYTE.	58
Figura 44. Proteus-ISIS	59
Figura 45. Proteus-ARES	60
Figura 46. Interfaz software SoMove 2.6.....	60
Figura 47. Esquema de funcionamiento del sistema automatizado.....	62
Figura 48. Tanque de almacenamiento La Península.....	64
Figura 49. Caseta TK-P100.....	65
Figura 50. Instalación del soporte del sensor TSPC-15S-485.....	65
Figura 51. Sujeción del soporte del sensor TSPC-15S-485	66
Figura 52. Instalación caja de paso metálica Sbox.....	67
Figura 53. Instalación de la tubería industrial por fuera del tanque.	67

Figura 54. Roscadora eléctrica WT-1074A.....	68
Figura 55. Agujero de 40cm de profundidad en el suelo de tierra.	68
Figura 56. Tubería eléctrica del sensor de nivel hacia el tablero de control	69
Figura 57. Tubería eléctrica para alimentación del UPS.....	69
Figura 58. Amoladora de mano DeWALT.....	70
Figura 59. Dobladora de tubo conduit manual de ½” a ¾”.....	70
Figura 60. Instalación de la varilla de cobre.....	71
Figura 61. Perforado de la pared de la caseta TK-P100.....	71
Figura 62. Conexión del cable de tierra con la barra de tierra.	72
Figura 63. Instalación del doble fondo, riel DIN y borneras en caja de paso.	72
Figura 64. Conexiones TSPC-xxxx-485. Fuente: (SENIX, 2015)	73
Figura 65. Cableado del sensor TSCPC-15S-485 hasta el tablero de control.....	74
Figura 66. Taladro inalámbrico DeWALT XR	75
Figura 67. Montaje de elementos en el tablero de control del tanque de almacenamiento.	75
Figura 68. Transformadores de la estación de bombeo.....	76
Figura 69. Estación de Bombeo La Península.....	77
Figura 70. Distribución de las conexiones eléctricas.	77
Figura 71. Tableros de variadores de frecuencia.....	78

Figura 72. Circuito de control.	79
Figura 73. Inexistencia de etiquetas en las conexiones.	80
Figura 74. Cableado en mal estado.....	80
Figura 75. Sensor ultrasónico en deterioro.....	81
Figura 76. Medidor de caudal Badger meter M2000.	81
Figura 77. Elemento primario de medida del Badger meter M2000.....	82
Figura 78. Instalación Badger Meter2000.....	83
Figura 79. Transmisor de presión Autonics TPS20-G17P2-00.....	84
Figura 80. Instalación del transmisor de presión Autonics TPS20-G17P2-00.....	84
Figura 81. Instalación del sensor Senix TSPC-30S1-485.	86
Figura 82. Instalación de la funda sellada del sensor Senix TSPC-30S1-485.....	87
Figura 83. Estación de bombeo con el tablero desmotado.	87
Figura 84. Ajuste de la tubería funda sellada BX de 1/2" con la pared.....	88
Figura 85. Reubicación de las tuberías eléctricas instaladas en la estación.	88
Figura 86. Tablero de dimensiones 1800x800x600mm	89
Figura 87. Perforado del doble fondo del tablero de la estación.	90
Figura 88. Montaje de elementos de control el tablero de la estación.	91
Figura 89. Corte de la puerta del tablero de fuerza y control	91

Figura 90. Instalación de los elementos en la puerta del tablero de fuerza y control.	92
Figura 91. Corte de energía de transformador trifásico de 75 KVA.	93
Figura 92. Caja de breakers servicios generales.....	94
Figura 93. Ponchadora hidráulica CAMSCO.....	94
Figura 94. Puesta en marcha del nuevo tablero de la estación.	95
Figura 95. Distancia existente en el tanque de almacenamiento y la estación.	96
Figura 96. Diagrama de bloques de funcionamiento del microcontrolador AVR.....	98
Figura 97. Dimensiones de la tarjeta microcontroladora.....	98
Figura 98. Microcontrolador ATmega2560 embebido en la tarjeta RobotDyn.	99
Figura 99. Diagrama de bloques del funcionamiento del nodo AVR.	100
Figura 100. Diseño del plano electrónico de la placa realizado en ISIS.	101
Figura 101. Diseño de la placa en ARES.	102
Figura 102. Placa final del PCB de los nodos AVR.....	103
Figura 103. Montaje de la carcasa en las placas de los nodos AVR.	103
Figura 104. Diagrama de bloques de la lógica del nodo AVR de la estación.	104
Figura 105. Diagrama de la lógica del nodo AVR del Tanque de Almacenamiento	105
Figura 106. Diagrama de bloques del funcionamiento en conjunto de ambos nodos AVR.....	106

Figura 107. Configuración de la tarjeta transceptora LORA	107
Figura 108. Mapa de comunicaciones de la estación de bombeo.....	109
Figura 109. Selección del RSWho	110
Figura 110. Reconocimiento del controlador.	110
Figura 111. Reconocimiento de las características generales del controlador.	111
Figura 112. Creación del nuevo proyecto.....	112
Figura 113. Integración de los módulos enchufables al PLC.....	112
Figura 114. Configuración puerto serial integrado del PLC	114
Figura 115. Bloque de mensaje MSG_MODBUS.	115
Figura 116. Cableado de la comunicación hacia el PLC.....	118
Figura 117. Configuración del puerto de comunicaciones RS-485del PM.....	119
Figura 118. Bloque MSG_MODBUS lectura Powerlogic PM5500.	121
Figura 119. Bloque especial Words_into_real.	123
Figura 120. Conexión del cableado de comunicación del Badger Meter M2000.	124
Figura 121. Configuración del puerto B del Badger Meter M2000.	125
Figura 122. Bloque MSG_MODBUS lectura Badger Meter M2000.....	126
Figura 123. Configuración de los parámetros del sensor en el SenixVIEW	128
Figura 124. Bloque MSG_MODBUS lectura Senix TSPC-30S1-485.....	129

Figura 125. Conversión del registro sin formato.....	130
Figura 126. Diagrama lógico de la referencia.	132
Figura 127. Diagrama lógico del comando.	133
Figura 128. Diagrama de control para la operación del variador.	133
Figura 129. Diagrama simplificado para el control de velocidad del variador.	135
Figura 130. Diagrama de estados del variador.	136
Figura 131. Pines del conector RJ45 del variador.	137
Figura 132. Cableado del puerto de comunicación del variador.	138
Figura 133. Bloque MSG_MODBUS lectura_0 del variador.	140
Figura 134. Bloque MSG_MODBUS lectura_1 del variador.	141
Figura 135. Bloque MSG_MODBUS de escritura del variador.....	143
Figura 136. Distribución de los pines del puerto serial integrado del PLC.....	145
Figura 137. Bloque MSG_MODBUS de lectura del nodo AVR.	148
Figura 138. Bloque MSG_MODBUS de escritura del nodo AVR.	149
Figura 139. Conexión del sensor de presión al PLC	152
Figura 140. Bloque SCALER.....	152
Figura 141. Configuración del puerto Ethernet del PLC.....	153
Figura 142. Ventana de comunicaciones del PanelView 800.	154

Figura 143. Configurar parámetros de comunicación del terminal gráfico.....	155
Figura 144. Direccionamiento del controlador.....	155
Figura 145. Mapa de comunicaciones del tanque de almacenamiento.	156
Figura 146. Configuración de los parámetros del sensor con el SenixVIEW.....	157
Figura 147. Bloque MSG_MODBUS lectura Senix TSPC-15S1-485.....	158
Figura 148. Conversión del registro sin formato.....	160
Figura 149. Bloque MSG_MODBUS de lectura del nodo AVR tanque.....	163
Figura 150. Bloque MSG_MODBUS de escritura del nodo AVR tanque.....	164
Figura 151. Filosofía del funcionamiento	168
Figura 152. Bloque de control de proceso propio del PLC, HYSTER	170
Figura 153. Diagrama del comportamiento del bloque de control.....	171
Figura 154. Estructura de las pantallas lógicas.	172
Figura 155. Entorno de desarrollo de Blender en modo edición.....	173
Figura 156. Ventana de edición de nodos de Blender.	173
Figura 157. Configuración cuenta de usuario del terminal gráfico.....	175
Figura 158. Interfaz de la lista de alarmas.....	176
Figura 159. Tablero de control de la estación en funcionamiento	177
Figura 160. Etiquetadora BRADY BMP 21-PLUS.....	178

Figura 161. Conexiones de la caja de paso del tanque	178
Figura 162. Antena instalada.....	179
Figura 163. Tablero de fuerza y control en funcionamiento	179
Figura 164. Componentes instalados en el doble fondo del tablero.....	180
Figura 165. Parte posterior de la puerta del tablero	181
Figura 166. Antena instalada.....	181
Figura 167. Diagnóstico de comunicación del puerto 5 del PLC del Tanque.....	183
Figura 168. Diagnóstico de comunicación del puerto 2 del PLC del Tanque.....	184
Figura 169. Diagnóstico de comunicación del puerto 5 del PLC de la estación de bombeo	186
Figura 170. Diagnóstico de comunicación del puerto 2 del PLC de la estación de bombeo	187
Figura 171. Diagnóstico de la comunicación inalámbrica del nodo AVR del Tanque de almacenamiento	189
Figura 172. Diagnóstico de la comunicación inalámbrica del nodo AVR de la estación de bombeo	191
Figura 173. Modo de operación Local	193
Figura 174. Modo de operación Local-Manual.....	193
Figura 175. Modo de operación Local-Automático	194
Figura 176. Modo de operación Remoto.....	194

Figura 177. Modo de operación Remoto-Manual	195
Figura 178. Modo de operación Remoto-Automático.....	196
Figura 179. Monitoreo en ambas pantallas.....	197
Figura 180. Respuesta de la estación al control On-Off.....	198

RESUMEN

Se automatizó la estación de bombeo “La Península” de la Empresa Pública Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Ambato EP-EMAPA-A, y para esto se estableció una comunicación inalámbrica bidireccional entre la estación de bombeo y el tanque de almacenamiento, con el fin de que los datos de la estación de bombeo suban al tanque y los datos del tanque bajen a la estación. El propósito de esto es el control y monitoreo de la estación de bombeo tanto de manera local (estación) como de manera remota (tanque de almacenamiento y con proyección para que el control y monitoreo sea realizado desde el SCADA de la central de monitoreo de la empresa). El tanque de almacenamiento y la estación están separados desde las faldas hasta la cima de la montaña por una distancia a nivel de relieve de aproximadamente 510 m sin línea de vista. Para establecer el enlace de radiofrecuencia se diseñó un dispositivo que permite la integración de equipos con protocolo de comunicación industriales MODBUS RTU con la nueva tecnología LORA. Además, se implementó un lazo de control automático que permitió mantener la variable de nivel del tanque de almacenamiento en un valor de operación deseado, asegurando el abastecimiento permanente de agua potable a la población. Debido a que la estación se encontraba con sus instalaciones eléctricas en malas condiciones se realizó un diseño y montaje de las nuevas instalaciones.

PALABRAS CLAVE:

- **AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL**
- **PROTOCOLOS DE COMUNICACIÓN**
- **TELECOMUNICACIONES DE RADIOFRECUENCIA**
- **EP-EMAPA AMBATO - ESTACIÓN DE BOMBEO**

ABSTRACT

The pumping station “La Peninsula” of the Municipal Public Water and Sewerage Company of Ambato EP-EMAPA-A was automated, and for this a two-way wireless communication is connected between the pumping station and the storage tank, with the so that the pumping station data goes up to the tank and the tank data goes down to the station. The purpose of this is the control and monitoring of the pumping station both locally (station) and remotely (storage tank and with projection so that control and monitoring is carried out from the SCADA of the central monitoring of the company). The storage tank and the station are separated from the skirts to the top of the mountain by a distance at a relief level of approximately 510 m without sight line. To establish the radiofrequency link, a device was designed that allows the integration of equipment with MODBUS RTU industrial communication protocol with the new LORA technology. In addition, an automatic control loop is implemented that maintains the storage tank level variable at a desired operating value, ensuring the permanent supply of drinking water to the population. Due to the station, with its electrical installations in poor conditions, a design and assembly of the new installations will be carried out.

KEYWORDS:

- **INDUSTRIAL AUTOMATION**
- **COMMUNICATION PROTOCOLS**
- **RADIO FREQUENCY TELECOMMUNICATIONS**
- **EP-EMAPA AMBATO - ESTACIÓN DE BOMBEO**

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. Planteamiento del problema

Distribuir el agua potable ya sea por la fuerza de gravedad o por bombeo, requiere de un procedimiento que debe ser controlado y monitoreado; con los avances tecnológicos, las empresas de agua potable han visto la necesidad de incorporar equipos de automatización que mejoran el control en las estaciones de bombeo favoreciendo la optimización del proceso de estas plantas.

La Empresa Pública Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Ambato EP-EMAPA-A tiene distribuida por toda la provincia de Tungurahua varias estaciones de bombeo, de las cuales no todas cuentan con un sistema de control para su funcionamiento. Una de estas estaciones mencionadas es la estación de bombeo La Península.

La estación de bombeo la Península tiene la particular característica de tener muy distanciada la estación de bombeo del tanque de almacenamiento, dificultando así la labor del operador al momento de controlar el llenado del tanque. Para esto el operador tiene que trasladarse desde la estación de bombeo hasta el tanque de almacenamiento, observar el nivel que éste tiene e inmediatamente regresar a la estación de bombeo para tomar las acciones , además de esto, la información de la estación es invisible para el SCADA de la Central de Monitoreo al encontrarse fuera del alcance de la señal emitida desde la Central, provocando de esta manera que cuando el operador termine su jornada de trabajo las instalaciones queden completamente abandonadas sin ningún tipo de vigilancia lo cual en muchos casos deriva en que el agua rebose el nivel máximo del tanque de almacenamiento provocando así el desperdicio de recursos y pérdidas para la empresa.

1.2. Antecedentes

El agua potable que utilizamos en nuestros hogares es producto de un proceso de obtención y tratamiento de fuentes fluviales, para obtener este recurso y poder distribuirlo en las comunidades se requiere de una estación de bombeo que permita dirigir el agua desde su fuente hasta un tanque de almacenamiento ubicado estratégicamente para utilizar la presión de caída de agua y poder repartirla en la comunidad, estas estaciones de bombeo deben brindar un bajo consumo energético mediante el uso de los equipos adecuados así como la correcta automatización de la estación. (Pedraza Martínez & Espino Godine, 2011)

La automatización de las estaciones de bombeo de agua ya sea potable o aguas negras es de gran importancia para brindarnos el beneficio de tener un mejor control de los procesos mediante la incorporación de controladores lógicos programables (PLC), los cuales nos ofrecen diversas respuestas a las tareas de control con el uso de nuevas tecnologías en la intercomunicación para la interacción con los sensores, actuadores y equipos necesarios en la tarea de control. (Arenas, 2009)

1.3. Justificación e importancia

En el ambiente industrial la automatización de los procesos es indispensable para el ahorro y mejor manejo de los recursos de las empresas, uno de estos procesos es el llenado de tanques, cisternas o cualquier tipo de recipiente que pueda contener algún fluido para tratamiento, almacenamiento o distribución, en los cuales el parámetro de nivel es uno de los más importantes a controlar.

La estación de bombeo la Península cuenta con dos partes principales, el tanque de almacenamiento y la estación de bombeo, las cuales por su ubicación geográfica carecen de comunicación de datos entre ellas, por lo cual el proceso de llenado del tanque de almacenamiento no cuenta con ningún tipo de monitoreo ni control produciendo desperdicio de recursos y debilitando el suelo donde se encuentra dicho tanque debido al desbordamiento del mismo. Para solucionar el problema mencionado se requiere establecer un enlace que comunique

las dos partes de la estación y mediante la automatización del proceso de llenado del tanque tener un uso eficiente de los recursos hídricos y energéticos.

El propósito de este proyecto es automatizar la estación de bombeo la Península con el fin de obtener a partir de esto un uso eficiente del recurso hídrico y de la energía eléctrica, para lo cual con el auge de las tecnologías inalámbricas existentes en el mercado se implementará un enlace inalámbrico por radio frecuencia que nos permita, además de automatizar la estación de bombeo, tener todos los datos del proceso en un punto visible para la antena del SCADA de la Central de Monitoreo y así provocar un impacto en el ahorro de recursos para la empresa.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General

Automatizar la estación de bombeo La Península EP-EMAPA-A, para un uso eficiente del recurso hídrico y de la energía eléctrica.

1.4.2. Objetivos Específicos

- Investigar acerca de la automatización en estaciones de bombeo, procedimiento que se debe seguir en la operación y dispositivos que intervienen en el proceso, necesarios para la implementación del sistema de control.
- Diseñar y elaborar los diferentes planos eléctricos de los tableros industriales a instalar.
- Diseñar e implementar las nuevas instalaciones eléctricas y electrónicas requeridas para la automatización de la estación de bombeo.
- Diseñar y construir nodos de comunicación inalámbrica con tecnología LORA, que permitan comunicar la estación de bombeo y el tanque de almacenamiento La Península.
- Diseñar y levantar el mapa de comunicaciones, para la obtención de los datos a interconectarse entre la estación de bombeo y el tanque de almacenamiento.

- Diseñar e implementar un sistema de control y monitoreo tanto de manera local, como de manera remota, basado en HMI-PLC para la estación de bombeo.
- Implementar un lazo de control automático que permita mantener la variable de nivel del tanque de almacenamiento en un valor de operación deseado, asegurando el abastecimiento permanente de agua potable a la población.
- Evaluar el sistema implementado a través de pruebas de funcionamiento en campo que validen el sistema de control de la estación de bombeo.

1.5. Variables de la Investigación

1.5.1. Variable Independiente

Automatización de la estación de bombeo La Península EP-EMAPA-A.

1.5.2. Variable Dependiente

Uso eficiente del recurso hídrico y de la energía eléctrica.

1.6. Hipótesis

¿La automatización de la estación de bombeo la Península de la Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Ambato (EP-EMAPA-A) permitirá tener un mejor manejo y reducción de consumo del recurso energético e hídrico en la estación?

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Fuentes de abastecimiento de agua

Las fuentes de agua constituyen el mecanismo fundamental en el diseño de un sistema de suministro de agua potable. De acuerdo a la ubicación y naturaleza de la fuente de abastecimiento, así como a la topografía del terreno, se consideran dos tipos de sistemas: Los de bombeo y los de gravedad. En los sistemas por bombeo, la fuente de agua se encuentra localizada en partes bajas de la ubicación geográfica de la población, siendo necesario transportar el agua mediante sistemas de bombeo a tanques de almacenamiento ubicados en elevaciones altas de la ciudad. En los sistemas de agua potable por gravedad, la fuente de agua debe estar ubicada en la parte alta de la ciudad para que el agua fluya, usando solo la fuerza de la gravedad. (Pittman, 1997)

2.2. Estaciones de Bombeo

Según Sabar (2005) “Las estaciones de bombeo son un conjunto de estructuras civiles, equipos, tuberías y accesorios, que toman el agua directa o indirectamente de la fuente de abastecimiento y la impulsan a un reservorio de almacenamiento o directamente a la red de distribución.” (p.3).

2.2.1. Estación de Bombeo la Península

La estación de bombeo “La Península” se encuentra ubicada en las faldas de la parroquia La Península, la cual se encuentra ubicada al norte de la ciudad de Ambato. Su clima es cálido y llama mucho la atención de propios y extraños por las bondades que posee. La estación de bombeo toma el agua de una vertiente natural que llena su tanque de succión con una capacidad de (8,75 m³) y bombea el líquido hacia el tanque de almacenamiento con una capacidad de (85 m³) ubicado en la topografía más elevada de dicha parroquia con la ayuda de dos bombas

centrífugas verticales de 75 HP. La figura 1 muestra la ubicación geográfica de la estación de bombeo. (Benítez, 2017)



Figura 1. Ubicación de la estación de bombeo La Península, ciudad de Ambato.

Fuente: (Google Earth, 2019)

2.3. Automatización Industrial

La automatización, genera en la industria mayor productividad, confiabilidad, estabilidad y calidad en sus resultados. La automatización industrial es utilizar un conjunto de técnicas que integre un proceso de control a través de dispositivos capaces de obtener decisiones e interactuar con otros, basándose en un algoritmo establecido, para el manejo de las variables del proceso, mediante su monitoreo y control; esto se realiza de manera automática. (Castro, Padilla, & Romero, 2005)

2.3.1. Pirámide de la Automatización

La figura 2 muestra la distribución de la pirámide de automatización industrial con cinco niveles. Cada uno de los niveles representa un área de la planta. El nivel inferior es el nivel de campo, mientras que el nivel superior es el de gestión administrativa. (Gutiérrez, 2010)

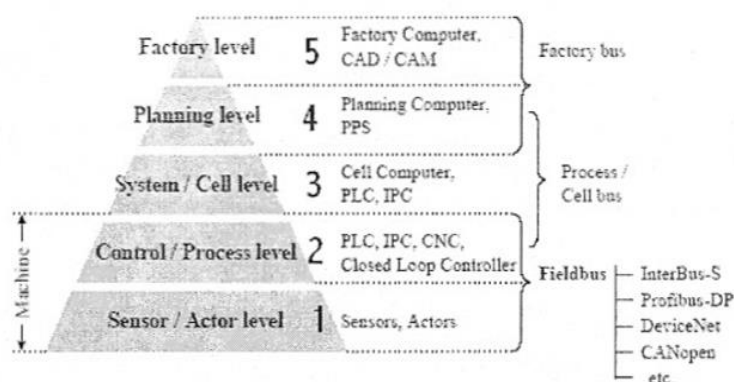


Figura 2. Pirámide de la Automatización

Fuente: (Gutiérrez, 2010)

a) Nivel de campo (Nivel 1)

También llamado nivel de instrumentación. Aquí se encuentran sensores, transductores, transmisores y actuadores; son los dispositivos conectados con el proceso productivo. Los sensores miden las variables del proceso como: nivel, caudal, temperatura, presión, etc. En cambio, los actuadores son los encargados de ejecutar las órdenes de los elementos de control como, por ejemplo: válvulas, motores, etc. (Gutiérrez, 2010)

b) Nivel de proceso (Nivel 2)

En este nivel se encuentran los dispositivos que permiten que los sensores y actuadores funcionen de forma conjunta para que sean capaces de realizar la tarea. Son dispositivos programables, de tal forma que es posible ajustar y personalizar su funcionamiento según la aplicación. Ejemplo de dispositivos de este nivel son: PLCs, PCs industriales, CNC, robots. (Gutiérrez, 2010)

c) Nivel de Célula (Nivel 3)

Aquí se pueden encontrar PLCs maestros, PCs industriales, sistemas de control distribuido, que se encargan de coordinar, supervisar y controlar las operaciones de los dos niveles inferiores;

es el control y supervisión que enlaza las unidades de control de cada estación de trabajo. (Gutiérrez, 2010)

d) Nivel de Planeación y control de la producción (Nivel 4)

Aquí se visualiza cómo se están llevando a cabo los procesos de la planta, a través de un SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition). Es posible monitorizar las variables al existir una red de comunicaciones, que vincula con dispositivos dedicados a la gestión y supervisión y que, generalmente, están constituidos por computadores o sistemas de visualización tales como interfaces humano-máquina (HMI). Algunas tareas que se realizan son: Gestión de materiales, gestión de compras, análisis de costos de fabricación, control de inventarios, gestión de mantenimiento, etc. (Gutiérrez, 2010)

e) Nivel de gestión (Nivel 5)

Toda información completa, actual y en tiempo real, de todos los niveles inferiores de una o varias plantas la adquiere el nivel 4. Toda esta información es enviada al nivel 5 el cual toma los valores de toda la información relativa a la producción y su gestión. Información relativa a: materias primas, la producción realizada, los tiempos de producción, etc. Con esta información, los ejecutivos de las empresas pueden extraer estadísticas referentes a: costos de fabricación, rendimiento de la planta, estrategias de ventas para liberar inventarios o excesos de producto almacenado y, en general, disponer de la información que permitan a los directivos la toma de decisiones que lleven a la optimización en el funcionamiento de la planta. (Gutiérrez, 2010)

Complementando lo anterior “El modelo descrito de estructura piramidal jerarquizada para la automatización industrial fue propuesto por la Oficina Nacional de estándares (NBS: National Bureau of Standards) y es el que está vigente en muchas industrias modernas.” (Gutiérrez, 2010, p. 34)

2.4. Redes de Comunicación Industrial

2.4.1. Comunicaciones Industriales

A partir del primer sistema automatizado con dispositivos electromecánicos hasta las grandes infraestructuras compuestas por varias máquinas trabajando coordinadamente, ha habido una relación estrecha de la máquina con su entorno. Para agrupar varios dispositivos, para ejecutar una tarea determinada, se utiliza diferentes señales en un sistema o máquina que permitan ese agrupamiento, será necesario coordinar los diferentes componentes para conseguir un resultado productivo. En la figura 3 muestra el modelo de Schneider Electric. (Rodríguez, 2008)

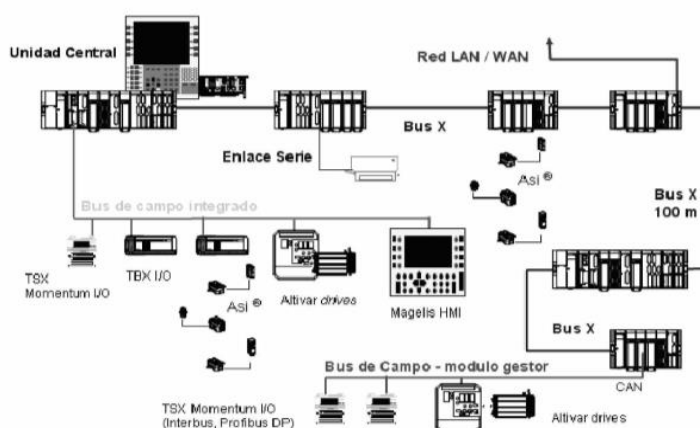


Figura 3. Modelo de integración de Schneider Electric.

Fuente: (Rodríguez, 2008)

2.4.2. Sistemas de control en una red de comunicación 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:

a) Sistema Centralizado

Es cuando el control se realiza por un solo sistema, todos los mensajes y las órdenes tienen un punto focal único sus características principales son:

- Es efectivo mientras el sistema no sea excesivamente grande ni complejo.
- Es fácil de mantener, ya que sólo hay un único controlador, al existir un único controlador, no existen problemas de compatibilidad.
- Son muy delicados a los fallos; si el controlador falla, todo se detiene. (Guerrero, Yuste, & Martínez, 2009)

En la figura 4 se muestra un ejemplo de control Centralizado.

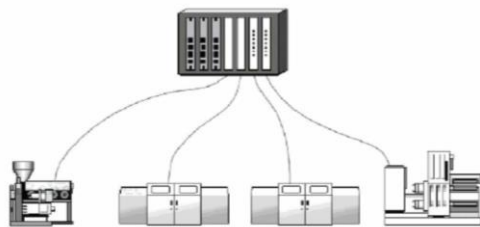


Figura 4. Control Centralizado.

Fuente: (Rodríguez, 2008)

b) Sistema Distribuido

Es cuando el control se realiza a través de diferentes sistemas conectados en red. (Guerrero, Yuste, & Martínez, 2009), La posibilidad de conectar los autómatas entre sí, además, permitió la posibilidad de la programación a distancia, supervisión remota, diagnósticos de todos los elementos conectados, modularidad, acceso a la información de forma prácticamente instantánea, etc. Todo esto hace que el sistema sea más fiable y menos costoso (Rodríguez, 2008). Sus características principales son:

- Para sistemas grandes o complejos.
- La responsabilidad es repartida entre diferentes controladores.
- Todos los controladores deben de comunicarse a través de una red.
- Su capacidad tiende a ser superior a un sistema centralizado.

- Se pueden hacer ampliaciones con otros controladores. Cuando éstos están programados y con un funcionamiento correcto, entonces se integra en 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.
- Permite la integración de dispositivos de diferentes fabricantes comunicables entre sí.
(Guerrero, Yuste, & Martínez, 2009)

En la figura 5 se muestra un ejemplo de un sistema de control distribuido.

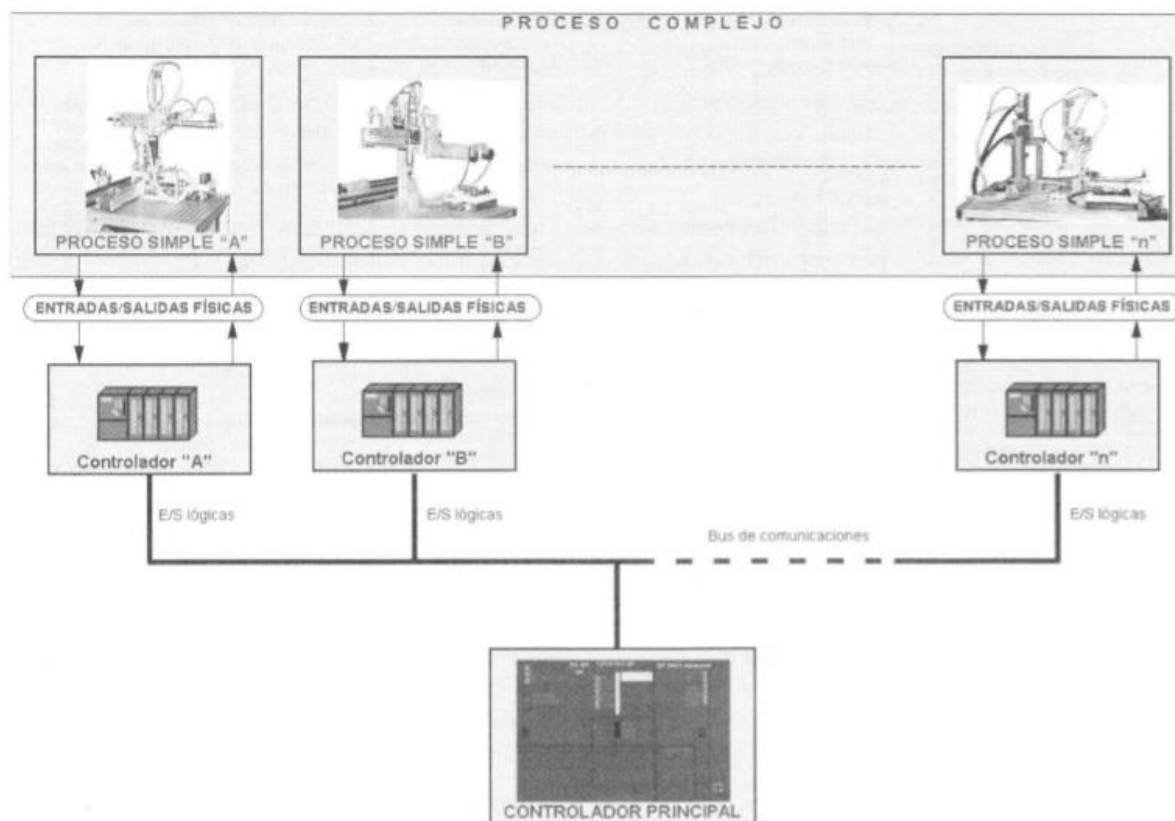


Figura 5. Sistema de control distribuido.

Fuente: (Guerrero, Yuste, & Martínez, 2009).

2.4.3. Buses de Campo

Una definición más elaborada es la dada por Fieldbus Foundation (2007), que lo define como: “Un bus de campo es un enlace de comunicaciones digital, bidireccional y multipunto entre dispositivos inteligentes de control y medida. Actúa como una red de área local para control de proceso avanzado, entrada/salida remota, y aplicaciones de automatización de alta velocidad.” (p.90).

2.4.4. Protocolo de comunicación MODBUS

MODBUS es un protocolo de mensajería de capa de aplicación serie de la industria desarrollado por Modicon en 1979, ubicado en el nivel 7 del modelo OSI, que establece

comunicaciones Maestro-Esclavo y Cliente-Servidor entre dispositivos inteligentes y dispositivos de campo conectados en diferentes tipos de buses o redes, permitiendo que millones de equipos de automatización se comuniquen entre sí. MODBUS es un protocolo de solicitud / respuesta y ofrece servicios especificados por códigos de función. (Modbus.org, 2012)

Es un protocolo, para el monitoreo y control de variables de campo, tales como los utilizados en estaciones de tratamiento de aguas, gas o instalaciones petroleras. Actualmente está implementándose en varios sectores, tales como la domótica, climatización, control de procesos, bombeos, etc. (Rodríguez, 2013)

En la figura 6 se puede observar como el protocolo MODBUS permite una comunicación fácil dentro de todos los tipos de arquitecturas de red. Los gateways permiten una comunicación entre varios tipos de buses o redes usando el protocolo MODBUS. Los equipos como PLC, HMI, panel de control, dispositivo de E / S, etc. pueden utilizar el protocolo MODBUS. La misma comunicación se puede hacer tanto en la línea serial o Ethernet TCP / IP. (Modbus.org, 2012)

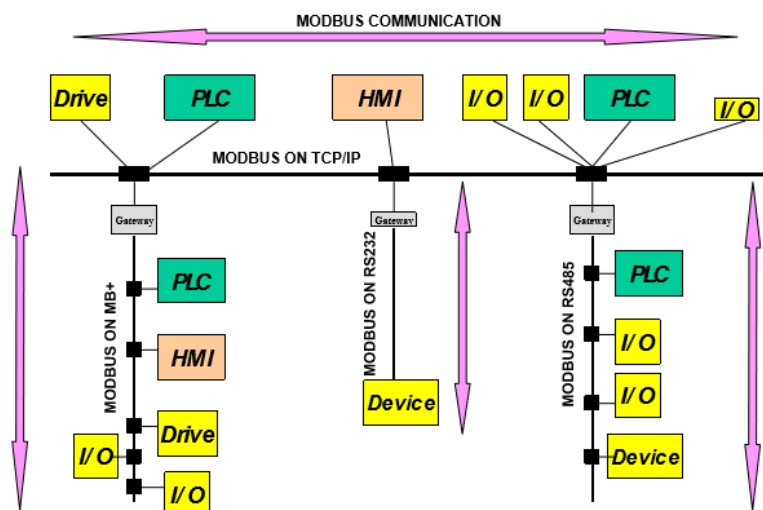


Figura 6. Ejemplo de la arquitectura MODBUS

Fuente: (Modbus.org, 2012).

a) Modos de transmisión en MODBUS

El protocolo MODBUS tiene dos modos de transmisión serie. Los controladores pueden configurarse para comunicarse en redes MODBUS, utilizando los modos de transmisión: ASCII o RTU. El modo seleccionado define el contenido de bits de los campos de mensaje transmitidos en serie, entramado y desentramado de los mensajes. El modo seleccionado debe ser el mismo para todos los dispositivos en una red. (Modbus.org, 2013)

b) Modelo de datos MODBUS

MODBUS basa su modelo de datos en una serie de tablas que tienen características distintivas, la tabla 1 muestra su modelo de datos primarios son:

Tabla 1.

Modelo de datos MODBUS.

Tablas primarias	Tipo de objeto	De tipo	Comentario
Discretes Input	Single bit	Solo lectura	Este tipo de datos puede ser proporcionado por un

CONTINÚA 

sistema de E / S.			
Coils	Single bit	lectura-escritura	Este tipo de datos puede ser alterado por un programa de aplicación.
Input Registers	16-bit Word	Solo lectura	Este tipo de datos puede ser proporcionado por un sistema de E / S
Holding Registers	16-bit Word	Lectura-escritura	Este tipo de datos puede ser alterado por un programa de aplicación.

Fuente: (Modbus.org, 2012)

2.4.5. Redes Inalámbricas

Una red inalámbrica es un sistema de comunicaciones de datos que transmite y recibe la información en medios no guiados, una red inalámbrica utiliza ondas electromagnéticas para ello. El intercambio de información se lleva a cabo mediante antenas. La antena transmisora radia energía electromagnética en el aire, y la antena receptora capta estas ondas electromagnéticas, todo esto se realiza de una manera transparente al usuario. (Stallings, 2004)

Básicamente en las transmisiones hay dos tipos de configuraciones: direccional y omnidireccional. En la configuración direccional, la antena transmisora emite la energía electromagnética concentrándoles en un haz; por lo tanto en este caso las antenas de emisión y recepción deben estar perfectamente alineadas. En la configuración omnidireccional, el diagrama de radiación de la antena es más disperso, emitiendo en todas las direcciones, pudiendo la señal ser recibida por varias antenas. (Stallings, 2004, p. 112)

a) Tecnología LoRAWAN

LoRaWAN es una especificación de redes LPWAN (Low Power Wide Area Network). LoRaWAN es un protocolo de red que usa la tecnología LoRa para comunicar y administrar equipos LoRa. En la figura 7 se muestra el protocolo de red LoRaWAN. Hay que tener en cuenta que LoRa y LoRaWAN no son lo mismo, LoRa es el tipo de modulación en radiofrecuencia patentado por la empresa Semtech. (Casanova , Caridad, Pérez, & Gonzáles, 2017)

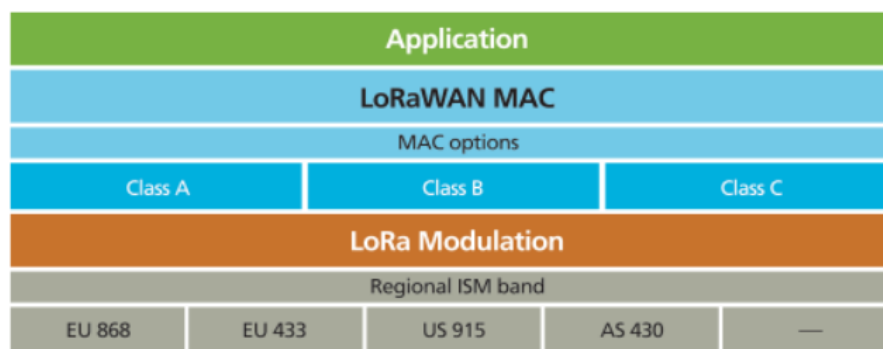


Figura 7. Protocolo de red LoRaWAN

Fuente: (Casanova , Caridad, Pérez, & Gonzáles, 2017)

Las principales características de LoRaWAN son:

- Topología estrella.
- Alcance de 10 a 15km en línea de vista.
- Encriptación AES 128.
- Soporte para 3 clases de nodos.
- Administración de dispositivos.
- Redes públicas y privadas.
- Bajo consumo y largo alcance.
- Baja transferencia de datos (hasta 242 bytes).

En la figura 8 se muestra como se compone una red LoRaWAN clásica, en la que una serie de dispositivos finales se conectan a Gateways y estos envían todo a un servidor, que por medio de una API entrega los datos a una aplicación final para el usuario. (Sabas, 2017)

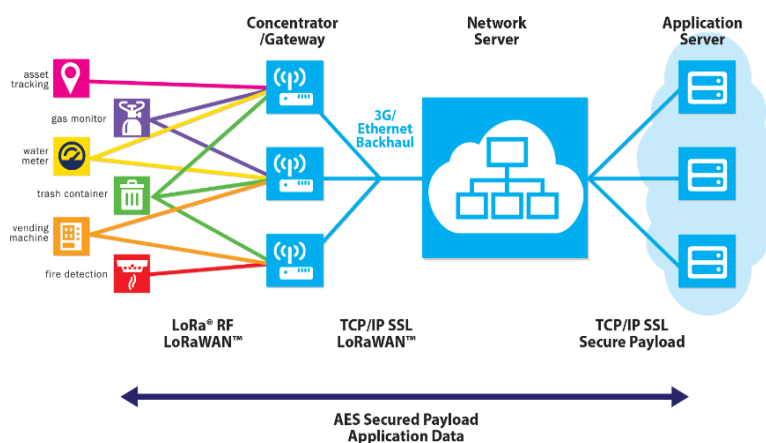


Figura 8. Estructura clásica de una red LoRaWAN.

Fuente: (Sabas, 2017).

El estándar de red LoRaWAN apunta a requerimientos característicos de IoT, Internet de las Cosas, todo esto hace a la tecnología ideal para conexiones a largas distancias que se pueden utilizar en: conexiones punto a punto o máquina a máquina, redes de sensores en ciudades, campo o industria, redes IoT donde no se requiere transferir voz o video, Tracking de vehículos, animales o personas, redes privadas que no requieren conectarse a servicios en la nube o donde no hay cobertura celular es por todo eso que nace LoRaWAN. Algunas de las aplicaciones de muestra en la figura 9. (Esnoz, 2017)



Figura 9. Aplicaciones estándar LoRaWAN.

Fuente: (Casanova , Caridad, Pérez, & Gonzáles, 2017).

b) Tecnología LoRa

En el nivel 1 de OSI, nivel físico, encontramos la tecnología LoRa de comunicación. Esta tecnología permite el envío y recepción de información punto-a-punto. Lo que caracteriza a un dispositivo LoRa es su largo alcance con un mínimo dispositivo. Para ello emplea la técnica de espectro ensanchado, donde la señal a mandar utiliza más ancho de banda que el necesario teóricamente pero que permite una recepción de múltiples señales a la vez que tengan distinta velocidad. (LoRaWAN, 2018)

El padre de LoRa es la empresa Semtech, que desarrolló la tecnología y posee la patente. En la figura 10 se muestra un ejemplo de conexión LoRa punto a punto. Ahora la fundación LoRa Alliance, se encarga del desarrollo del estándar y su evolución y que entre sus principales ventajas se encuentra: (LoRaWAN, 2018)

- Alta tolerancia a las interferencias.
- Alta sensibilidad para recibir datos (-168dB).
- Basado en modulación chirp.
- Bajo Consumo (hasta 10 años con una batería*).
- Largo alcance 10 a 20km.
- Baja transferencia de datos (hasta 255 bytes).
- Conexión punto a punto.
- Seguridad: gracias a su cifrado de datos AES-128 extremo a extremo integrado, interceptar la información es prácticamente imposible.
- Al no utilizar frecuencias de licencia, los costos de conectividad son considerablemente inferiores.

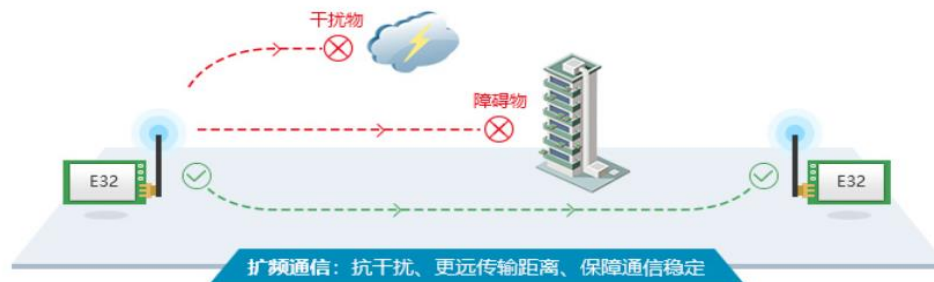


Figura 10. Ejemplo de conexión LoRa punto a punto.

Fuente: (EBYTE, 2019)

2.5. Variador Altivar Process ATV630D75N4

La serie de variadores Altivar Process ATV600 tiene mejoras como la optimización, inteligencia en tiempo real y eficacia. Este variador se utiliza en una amplia gama de aplicaciones afines con el agua, aguas residuales, minería, minerales, metales, petróleo, gas, alimentos y bebidas. Este tipo de variadores de frecuencia es la solución perfecta para mejorar la eficacia de los procesos en una gran variedad de aplicaciones. En la figura 11 se muestra el variador Altivar. (Schneider Electric, 2014)



Figura 11. Variador ATV630D75N4.

Fuente: (Schneider Electric, 2014)

2.5.1. Principales características técnicas ATV630D75N4

Las principales características del variador AT630D75N4 son mostradas en la tabla 2.

Tabla 2.

Características técnicas ATV630D75N4

Gama de producto	Altivar Process ATV600
Tipo de producto o componente	Variador de velocidad
Destino del producto	Motores asíncronos Motores síncronos
Grado de protección IP	IP21 de acuerdo con IEC 61800-5-1 IP21 de acuerdo con IEC 60529
Frecuencia de alimentación	50...60 Hz - 5...5 %
Número de red de fases	3 fases
Tensión de alimentación asignada	380...480 V - 15...10 %
Potencia del motor en HP	100 hp carga normal

CONTINÚA



	75 hp carga pesada
Corriente de línea	131,3 A 380 V carga normal 112,7 A 480 V carga normal 98,9 A 380 V carga pesada 86,9 A 480 V carga pesada
Potencia aparente	93,7 kVA 480 V carga normal 72,2 kVA 480 V carga pesada
Corriente de salida en continuo	145 A 2,5 kHz carga normal 106 A 2,5 kHz carga pesada
Máxima corriente transitoria	159,5 A 60 s carga normal 159 A 60 s carga pesada
Rango de frecuencias de salida	0,1...599 Hz
Protocolo del puerto de comunicación	Ethernet Serie Modbus Modbus TCP
Tipo de protección	<ul style="list-style-type: none"> • Par de torsión seguro motor • Interrup fase motor motor • Par de torsión seguro variador • Sobrecaletando variador de velocidad • Protección contra cortocircuitos • Interrup fase motor variador • Exceso de velocidad variador • Interrup en circuito control • Sobretensiones en bus CC



	<ul style="list-style-type: none"> • Tensión de salida de sobrecarga • Sobretensión en la línea de alimentación • Pérdida de fase de suministro de línea • Subtensión de la línea de alimentación • Sobreintensidad entre fases de salida y tierra • Protección térmica motor • Protección térmica variador
Tensión de salida	<= de la potencia de la tensión de alimentación
Normas	<ul style="list-style-type: none"> • EN/IEC 61800-3 • EN/IEC 61800-3 entorno 2 cat C2 • EN/IEC 61800-3 entorno 3 cat C3 • UL 508C • EN/IEC 61800-5-1 • IEC 61000-3-12 • IEC 60721-3 • IEC 61508 • IEC 13849-1

Fuente: (Schenider, 2018)

2.6. PLC AB MICRO 850 2080-LC50-24QWB

El controlador Micro 850 (figura 12) líder de la familia Micro800, este PLC brinda a la familia de PLC Micro800 un mayor nivel de flexibilidad y caracterización con sus módulos de E/S de expansión enchufables de tamaño reducido y sus bloques de terminales extraíbles. Este autómata programable está perfilado para aplicaciones de control de máquinas independientes más grandes que requieren comunicaciones flexibles y mayores capacidades de E/S. Estos controladores admiten hasta 132 puntos de E/S con E/S de alto rendimiento, interrupciones y movimiento de PTO, además de Ethernet incorporado y E/S de expansión 2085. (Rockwell A. , Controlador lógico programabel Micro850, 2013)



Figura 12. Micro850 2080-LC50-24QWB.

Fuente: (Rockwell A. , 2013)

2.6.1. Descripción general del controlador Micro850

El PLC de 24 puntos Micro850 (figura 13) es un controlador expandible tipo ladrillo con entradas y salidas incorporadas. Puede aceptar hasta tres módulos enchufables, hasta cuatro E/S de expansión Micro800 y cualquier fuente de salida de 24 VCC que cumpla con las especificaciones mínimas, tal como la fuente de alimentación eléctrica Micro800. (Rockwell A. , 2012)

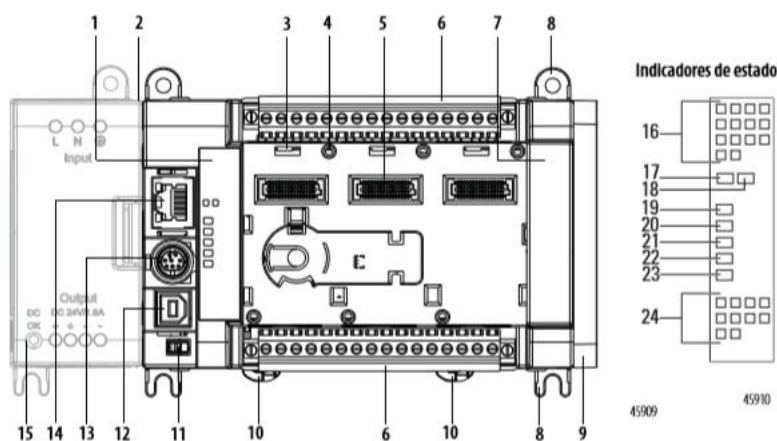


Figura 13. Descripción general del controlador.

Fuente: (Rockwell A. , 2012)

En la tabla 3 se muestra la descripción del controlador Micro850.

Tabla 3.

Descripción del controlador

Descripción		Descripción	
1	Indicadores de estado	9	Cubierta de ranura de E/S de expansión
2	Ranura de fuente de alimentación	10	Seguro de montaje en riel DIN
3	Seguro enchufable	11	Interruptor de modo
4	Agujero para tornillo de módulo enchufable	12	Puerto USB de conector Tipo B
5	Conector enchufable de alta velocidad de 40 pines	13	Puerto en serie combinado no aislado RS232/RS485
6	Bloque de terminales E/S extraíble	14	Conector RJ-45 EtherNet (con indicadores LED verde y amarillo incorporados)

CONTINÚA 

7	Cubierta del lado derecho	15	Fuente de alimentación eléctrica
8	Agujero para tornillo de montaje/pie de montaje		

Fuente: (Rockwell A. , 2012)

En la tabla 4 se muestra los datos técnicos del controlador Micro850.

Tabla 4.
Datos técnicos 2080-LC50-24QWB

Atributo	2080-LC50-24QWB
Número de E/S	24 (14 entradas, 10 salidas)
Tipo de circuito de entrada	24 VCC drenador/surtidor
Tipo de circuito de salida	Relé
Consumo de potencia	28 W
Rango de voltaje de la fuente de alimentación	20.4...26.4 VCC
Clasificación de E/S	Entrada 120 VCA 16 mA Salida 2 A, 240 VCA; 2 A, 24 VCC

Fuente: (Rockwell A. , 2012)

2.6.2. Módulo enchufable puerto serie aislado RS232/485 Micro800

Este módulo (figura 14) está diseñado para ser usado en ambientes industriales de grado de contaminación 2. Este módulo permite comunicar al autómeta mediante protocolo serial Modbus RTU, serial CIP y protocolo ASCII. (Rockwell A. , 2010)



Figura 14. Módulo 2080-SERIALISOL.

Fuente: (Rockwell A. , 2010)

2.6.3. Módulo enchufable 2085 –IF4

Este módulo de expansión de E/S (figura 15) de cuatro canales interactúa con el Micro850 utilizando un puerto de expansión de E/S. Este módulo permite la lectura de datos analógicos del proceso.



Figura 15. Módulo enchufable 2085 –IF4.

Fuente: (Rockwell A., 2016)

2.7. Powerlogic PM5500

Los dispositivos de medida PM5500 de Powerlogic (figura 16) contribuyen valor a las rigurosas necesidades de las aplicaciones de supervisión de energía y gestión de costes. El medidor de parámetros PM5500 contribuye un alto grado de calidad, fiabilidad y asequibilidad en un tamaño compacto y de fácil instalación. (Schneider , PowerLogic PM5500 Serie, 2019)



Figura 16. Powerlogic PM5500.

Fuente: (Schneider , PowerLogic PM5500 Serie, 2019)

En la tabla 5 se muestra las características principales del medidor de parámetros PM5500.

Tabla 5.
Características principales PM5500

Tipo de producto	Central de medida
Tipo de medición	Corriente, tensión, frecuencia, factor de potencia, energía, potencia activa y reactiva
Fuente de voltaje	125...250 V DC 100...480 V CA
Frecuencia de red	60, 50 Hz

CONTINÚA 

Corriente nominal	1A, 5ª
Tensión de medida	20...400V CA entre fase y neutro 20...690V CA entre fases
Frecuencia	45...65 Hz
Número de entradas	4 digital
Número de salidas	2 digital
Protocolos de comunicación	Modbus RTU, ASCII, JBUS, Modbus TCP/IP, BACnetIP

Fuente: (Schneider , PowerLogic PM5500 Serie, 2019)

2.8. Microcontrolador RobotDyn ATmega2560

El microcontrolador ATmega2560 (figura 17) se basa en el microcontrolador ATmega2560 y el adaptador USB-UART CH340. Utiliza un chip original, y un resonador de cuarzo de alta calidad de 16 MHz embebido en la placa. La corriente de salida máxima en 5V es de alrededor de 800mA, mientras que en 3.3V es de aproximadamente 800mA. (RobotDyn, 2017)

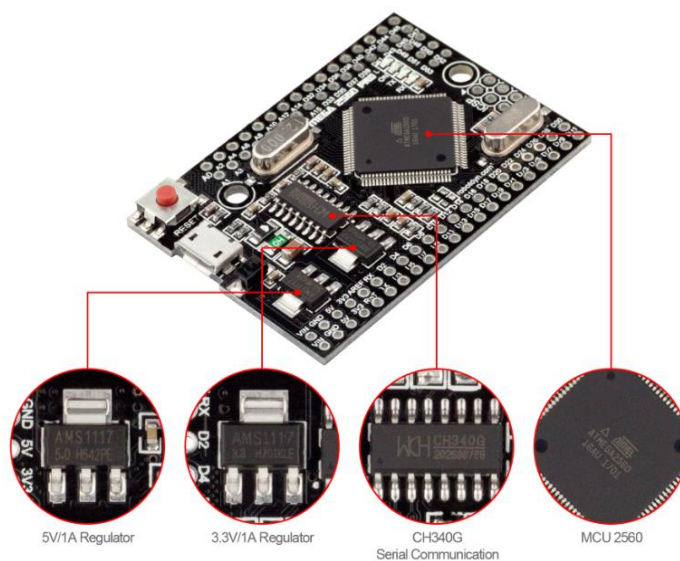


Figura 17. Microcontrolador RobotDyn ATmega2560

Fuente: (RobotDyn, 2017)

En la tabla 6 de muestra las especificaciones técnicas del microcontrolador ATmega2560.

Tabla 6.

Especificaciones microcontrolador RobotDyn ATmega2560.

Microcontrolador	ATmega2560
Convertor USB-TTL	CH340
Energía de salida	5V-800mA
Energía de entrada	5V
Potencia de entrada Vin/DC	9-12V
Consumo de energía	5V 200mA
Nivel lógico	5V
USB	Micro USB

CONTINÚA 

Reloj de frecuencia	16MHz
Digital I/O	54
Analógica I/O	16
Tamaño de memoria	256Kb
Tipo / tamaño de RAM de datos	8Kb
Tipo / tamaño de ROM de datos	4Kb
Temperatura de funcionamiento	-40C°/+85C°

Fuente: (RobotDyn, 2017)

2.9. US Motors HO75S1SLG

El motor de eje vertical (figura 18) está diseñado para aplicaciones de bombas de turbina para muchas industrias, incluyendo riego / agricultura y generación de energía. Un motor para múltiples necesidades de transferencia de agua. El motor de eje hueco vertical está diseñado específicamente para aplicaciones de bomba de turbina vertical de alto empuje o pozo profundo. (Control Solutions, 2018)



Figura 18. US Motors HO75S1SLG.

Fuente: (Control Solutions, 2018)

En la tabla 7 se muestra las características básicas del motor US Motors HO75S1SLG.

Tabla 7.
Características US Motors HO75S1SLG

HP	75
Fase	3
Voltaje	460V
Frecuencia	60Hz
RPM	3540
Montaje	Vertical (eje hueco)
Corriente	90.20

Fuente: (Control Solutions, 2018)

2.10. PanelView 800

El terminal gráfico PanelView 800 (figura 19) es un dispositivo, para montaje en panel que ofrecen opciones de teclado numérico o pantalla táctil para el operador. Tiene un procesador de alto rendimiento, pantalla de alta resolución y memoria flash. Los puertos de comunicaciones en serie y Ethernet incorporados son compatibles con distintas redes. Estos terminales ofrecen un mejor uso con capacidad de monitoreo remoto. (Rockwell Automation, 2018)



Figura 19. Terminal gráfico PanelView 800.

Fuente: (Rockwell Automation, 2018)

2.10.1. Partes

En la figura 20 se muestra las partes por las cuales está compuesta la pantalla PanelView 800 de siete pulgadas 2711R-T7T

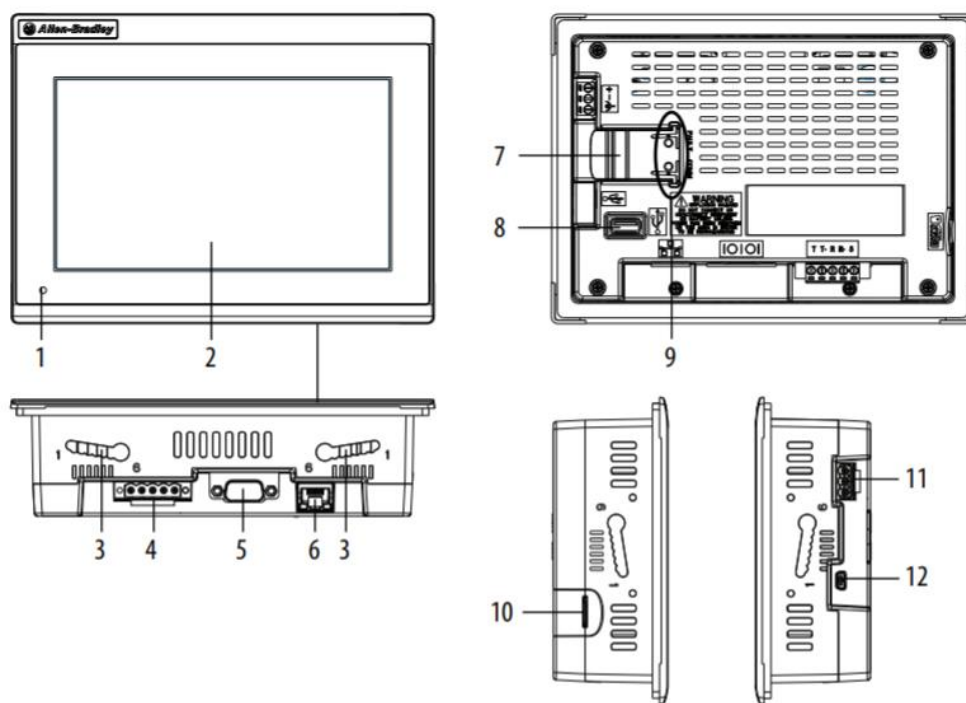


Figura 20. Partes de la PanelView 800 2711R-T7T

Fuente: (Rockwell Automation, 2018)

1 Indicador LED de estado de la alimentación eléctrica.

2 Pantalla táctil.

3 Ranuras de montaje.

4 Puerto RS-422 y RS-485.

5 Puerto RS-232.

6 Puerto Ethernet 10/100 Mbps.

7 Batería reemplazable del reloj en tiempo real.

8 Puerto anfitrión USB.

9 Indicador de estado de diagnóstico.

10 Ranura para tarjeta micro-SD.

11 Entrada de alimentación de 24 VCC.

12 puerto USB.

2.10.2. Especificaciones técnicas

En la tabla 8 se muestra las especificaciones técnicas más importantes de la PanelView 800.

Tabla 8.

Especificaciones técnicas PanelView 800 2711R-T7T

Atributo	Valor
Número de Puertos	2
Tipo de Puerto	Ethernet, USB

CONTINÚA 

Velocidad del Procesador	800MHZ
Memoria Integrada	256 MB
Tensión de Alimentación	24 V dc
Índice de Protección IP	IP65
Temperatura de Funcionamiento	0 ° a 50° C

Fuente: (Rockwell Automation, 2018)

2.11. Medidor Electromagnético M2000

El medidor electromagnético M2000 fue elaborado como la primicia en avance para el tratamiento de las señales obtenidas por la medición de flujo electromagnético, su diseño compacto y muy práctico a la hora de usar (figura 21) fue específicamente construido para pruebas de comprobación en campo. (EQUYSIS, 2019)



Figura 21. Medidor-M2000.

Fuente: (EQUYSIS, 2019)

Este medidor como se puede apreciar en la figura 22 está constituido por dos partes principales las cuales son: (EQUYSIS, 2019)

- El sensor: compuesto por la tubería de flujo, cubierta aislada y electrodos de medición

- El amplificador: módulo encargado del manejo y tratamiento de las señales tanto de entrada como de salida, así como también de la visualización de los datos obtenidos mediante la pantalla incorporada.

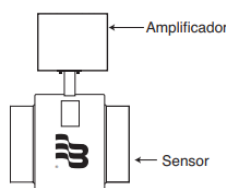


Figura 22. Composición del medidor.

Fuente: (EQUYSIS, 2019)

En la tabla 9 se muestran las características técnicas más relevantes de este medidor.

Tabla 9.

Especificaciones Técnicas Medidor -M2000

ESPECIFICACIONES	
Rango de flujo	0,10 a 39,4 ft/s (0,03 a 12 m/s)
Suministro de energía	Suministro de energía de CA 85 a 265V CA; energía típica: 20V A o 15W; energía máxima: 26V A o 20W Suministro de energía de CC opcional: 10 a 36V CC; energía típica: 10W; energía máxima: 14W
Comunicación	RS232 Modbus RTU; RS485 Modbus RTU, HART, Profibus DP requieren tarjetas hijas separadas
Temperatura ambiente	- 4 a 140°F (-20 a 60°C)

Fuente: (EQUYSIS, 2019)

a) Funcionamiento

El sensor que trae este medidor da la señal al amplificador mediante un voltaje incitado en los electrodos que se encuentran insertados en el tubo, este voltaje es producto del flujo de un líquido conductor que atraviesa un campo electromagnético generado por dos bobinas ubicadas de manera opuestas en el exterior de la tubería y excitadas con CC, el voltaje inducido es equivalente a la velocidad con la cual se desplaza el fluido por dicha tubería. (EQUYSIS, 2019) la representación de este funcionamiento se puede apreciar en la figura 23.

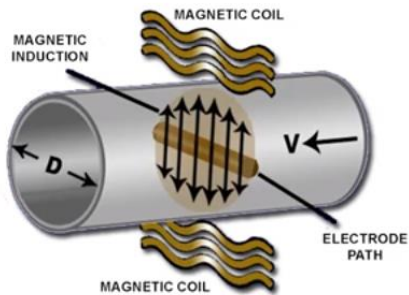


Figura 23. Funcionamiento del sensor.

Fuente: (EQUYSIS, 2019)

El voltaje que llega al amplificador es amplificado, filtrado y digitalizado para posteriormente ser mostrado en la pantalla como medición de flujo. (EQUYSIS, 2019)

b) Dimensiones del Medidor-M2000

Las dimensiones del Medidor-M2000 se muestran en la figura 24.

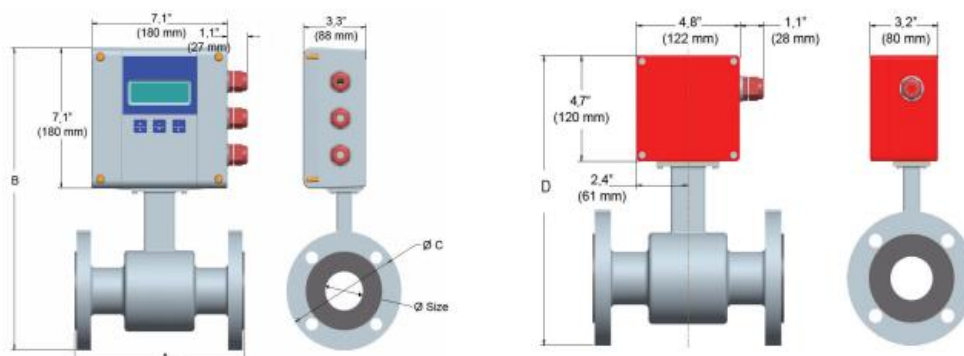


Figura 24. Dimensiones del Medidor-M2000.

Fuente: (EQUYSIS, 2019)

2.12. Sensor de distancia ultrasónico TSPC SENIX

Este sensor mediante el empleo de ondas ultrasónicas se encarga de detectar un nivel o distancia al cual se encuentra determinado objeto, como se puede apreciar en la figura 25 existe una gama amplia de estos sensores dependiendo las condiciones y rangos de medidas donde se los pretenda utilizar, es empleado para múltiples usos dentro del ambiente industrial pero comúnmente es usado para la medición de fluidos en cualquier tipo de recipiente como tanques, pozos, conductos, etc. (SENIX, 2018)



Figura 25. Gama de Sensores SENIX.

Fuente: (SENIX, 2018)

Como se observa en la figura 26 varios de los modelos incluyen un botón en la parte trasera que permite mediante su uso hacer variaciones y hasta cuatro ajustes del funcionamiento del

sensor directamente en campo sin necesidad de emplear su software de configuración. (SENIX, 2015)



Figura 26. Botón trasero del Sensor

Fuente: (SENIX, 2015)

Los indicadores que se encuentran en la parte trasera (figura 27) denuncian el funcionamiento del sensor, es así que el indicador redondo muestra que el sensor se encuentra alimentado, mientras que los indicadores cuadrado y rectangular revelan el modo de operación del sensor como: analógico, recepción de datos en serie, interruptor, conmutador, transmisión en serie de datos o apagado. (SENIX, 2015)

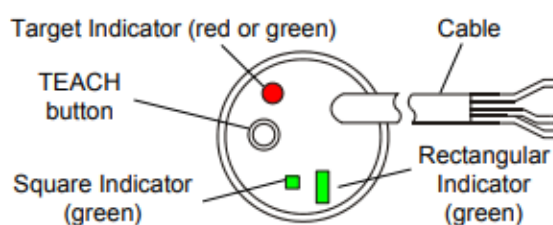


Figura 27. Indicadores traseros del Sensor.

Fuente: (SENIX, 2015)

Hay varios factores que afectan la medida del sensor uno de estos es el material del cual está hecho su base de montaje, ya que si se usa una base metálica esta puede inducir sobre el cuerpo del sensor energía acústica dando errores en la medición, por eso es recomendable el uso de una base tipo plástico, así también hay que tener en cuenta la orientación de su montaje (figura 28), ya que al ubicarlo en una posición no perpendicular el plano de medida este no recibe la señal de retorno de medición y entra en falla. (SENIX, 2015)

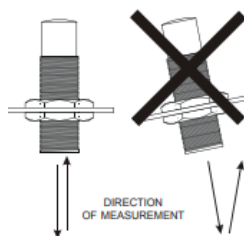


Figura 28. Orientación del Sensor.

Fuente: (SENIX, 2015)

2.12.1. Sensor SENIX TSPC-30S1-485

Las características técnicas del sensor TSPC-30S1-485 se muestran en la tabla 10.

Tabla 10.

Características técnicas del Sensor TSPC-30S1-485

Especificaciones	
Interfaz	RS485
Rango óptimo	10 pies (3,05 m)
Banda muerta	4 pulg. (10,2 cm)
Rango de sentido máximo	14 pies (4,27 m)
Ambiental	Entrada : IP-68, NEMA-4X Humedad : 0-100% (evitar condensaciones fuertes) Temperatura : -40 a +70 C de funcionamiento
Transductor	Piezoeléctrico robusto, ancho de haz nominal 12 grados @ -3 db, aprox. patrón en forma cónica

Fuente: (SENIX, 2015)

La clasificación de los cables para la conexión y configuración del sensor TSPC-30S1-485 se observan en la tabla 11.

Tabla 11.
Clasificación de los Cables del Sensor TSPC-30SI-485

Color	Función
Marrón	+ Voltaje de entrada de CC (entrada de alimentación)
Azul	-DC de entrada y señal común (tierra)
Negro	Bucle de abastecimiento de 4-20 mA
Blanco	0-10 VDC
Gris	RS-485 -
Amarillo	RS-485 +
Plata	Blindaje del cable (cable trenzado pelado), sin terminar en el extremo del sensor

Fuente: (SENIX, 2015)

2.12.2. Sensor SENIX TSPC-15S-485

La ficha técnica del sensor TSPC-15S-485 se muestra en la tabla 12

Tabla 12.
Ficha Técnica del Sensor TSPC-15S-485

Especificaciones	
Interfaz	RS485
Rango óptimo	20 pies (6,1 m)
Rango de sentido máximo	30 pies (9.1 m)
Resolución (<i>analógica</i>)	4100 pasos sobre 0-10 VDC y 3279 pasos sobre 0-20 mA (escalado entre puntos finales de distancia establecidos por el usuario)

CONTINÚA 

Resolución (<i>datos en serie</i>)	0.0068 pulg. (0.172 mm)
Tasa de medición	100 ms
Ambiental	Entrada : IP-68, NEMA-4X Humedad : 0-100% (evitar condensaciones fuertes) Temperatura : -40 a +70 C de funcionamiento

Fuente: (SENIX, 2015)

La clasificación de los cables para la conexión y configuración del sensor TSPC-15S-485 se observan en la tabla 13.

Tabla 13.
Clasificación de los Cables del Sensor TSPC-15S-485

Color	Función
Marrón	+ Voltaje de entrada de CC (entrada de alimentación)
Azul	-DC de entrada y señal común (tierra)
Negro	Interruptor de hundimiento # 1
Blanco	Interruptor de hundimiento # 2
Verde	Bucle de abastecimiento de 4-20 mA
Naranja	Lazo de hundimiento de 4-20 mA
Violeta	0-10 VDC
Gris	RS-485 -
Amarillo	RS-485 +

Fuente: (SENIX, 2015)

2.13. Transmisor de presión Autonics TPS20-G17P2-00

Es un transmisor de presión a dos hilos de líquido, gas y aceite para industria de tipo cabeza como se ve en la figura 29.



Figura 29. Transmisor de Presión TPS20-G17P2-00.

Fuente: (AUTONICS, 2019)

Las características técnicas de este transmisor de presión se presentan en la tabla 14.

Tabla 14.

Características Técnicas del Sensor TPS20-G17P2-00

Especificaciones	
Alimentación	15-35VDC
Corriente de salida	DC4-20mA
Tipo de Presión medida	presión manométrica
Rango de Presión	0-20 Kgf/cm ²
Precisión	± 0.3 % FS
Variación del Zero	+/- 0.03% F.S.
Variación del Span	+/- 0.03% F.S. a 25°C

Fuente: (AUTONICS, 2019)

2.14. Módulo inalámbrico E32-TTL-1W(433T30D)

Es un módulo que trabaja bajo la tecnología de espectro ensanchado de LORA, este módulo (figura 30) muestra grandes prestaciones para comunicación mediante radio frecuencia a largas distancias por ser inmune a interferencias y su alta confiabilidad en el traspaso de información. (EBYTE, 2017)



Figura 30. Módulo E32-TTL-1W(433T30D)

Fuente: (EBYTE, 2017)

Las aplicaciones en las cuales se emplean este módulos son: automatización de infraestructuras, domótica, sistemas de seguridad, en el tratamiento de salud, procesos industriales, entre otros. (EBYTE, 2017)

Las características del módulo E32-TTL-1W(433T30D) se describen en la tabla 15.

Tabla 15.

Características Técnicas del Módulo E32-TTL-1W(433T30D)

Especificaciones	
Fuente de alimentación	0- 5.2V
Alcance	8Km
Frecuencia de trabajo	410-441 Mhz
velocidad en aire	0.3kbps-19.2kbps

CONTINÚA

Temperatura	-40 – 85°C
Modulación	LORA
Antena	SMA-K a 50 ohm de impedancia
Longitud de TX	58 byte
Interfaz de Comunicación	TTL 3.3V

Fuente: (EBYTE, 2017)

El Módulo puede trabajar en 4 tipos de funcionamiento dependiendo del valor que puedan tener M0 y M1, estos tipos de funcionamiento se los puede ver en la tabla 16.

Tabla 16.
Modos de Operación del Módulo E32-TTL-1W (433T30D)

Modo(0-3)	M0	M1	Introducción de Modo
0 Normal	0	0	UART y el canal inalámbrico están abiertos, las transmisiones transparentes están activadas
1 Despierto	1	0	UART y el canal inalámbrico están abiertos, la única diferencia con el modo 0 es que antes de transmitir datos, aumenta el código de activación automáticamente, para que pueda despertar al receptor en el modo 3
2 Ahorro de energía	0	1	UART cerrado, inalámbrico en modo de despertador aéreo, después de recibir datos, UART abierto y enviar datos
3 Dormido	1	1	modo de suspensión, el comando de configuración de parámetros de recepción está disponible.

Fuente: (EBYTE, 2017)

2.15. Unidad de Suministro de Energía UPRS1508

Esta unidad de suministro de energía (figura 31) permite tener aún después de un corte eléctrico, por un tiempo determinado una alimentación constante en nuestros equipos, es una herramienta muy importante para aplicaciones de elevado nivel de protección brindándonos la oportunidad de hacer el cierre y apagado correcto de nuestros equipos. (CDP, 2018)



Figura 31. Unidad UPRS1508
Fuente: (CDP, 2018)

Las principales características de la unidad UPRS1508 se muestran en la tabla 17.

Tabla 17.
Características de la unidad UPRS1508

Especificaciones	
Capacidad	1500VA/1050W
Rango de Voltaje de entrada	81-145Vca
Voltaje nominal de entrada	120Vca

Frecuencia de entrada	50-60 H +/- 1Hz
Voltaje de salida	120Vca

Fuente: (CDP, 2018)

2.16. Transformador Seco 9T58K2813

El transformador 9T58K2813 que se indica en la figura 32 es un transformador de tipo Ip diseñado específicamente para el uso en la industria, actualmente estos transformadores a más de ser completamente aislados traen una protección basada en un polímero termoestable llamado epoxi que les inhibe el ingreso ante elementos externos que puedan causar daño en su funcionamiento. (GALCO, 2019)



Figura 32. Transformador 9T58k2813.

Fuente: (GALCO, 2019)

Este dispositivo se encuentra conformado por dos bobinas principales seccionadas en relación al voltaje con el que se desee trabajar. Las características de esta unidad se encuentran indicadas en la tabla 18.

Tabla 18.
Características del Transformador 9T58K2813.

Especificaciones	
Voltaje de entrada	240/480 V
Voltaje de salida	120/240 V
Potencia	1,5 KVA
Serie	Tipo IP
Dimensiones	1740mm X 1574.8mm X 14605 mm

Fuente: (GALCO, 2019)

2.17. Descargadores de Sobretensiones HAW

Los dispositivos de sobretensiones HAW están diseñados para proteger a los equipos de posibles picos de tensión en la red de alimentación y de comunicación, estos descargadores aterrizan a masa los voltajes de sobretensión cuando estos superan el umbral de trabajo de los equipos, su inventivo sistema de puesta a tierra presenta alta confiabilidad en los procesos que requieren una operación continua ininterrumpida. (Endress and Hauser, 2018)

2.17.1. HAW 560

El descargador HAW 560 (figura 33) está diseñado para el uso en líneas de baja tensión alrededor de los 30 VDC.



Figura 33. HAW 560
Fuente: (endress+hauser, 2018)

2.17.2. HAW 561

El dispositivo HAW 561 es un descargador unipolar de una sola pieza como se muestra en la figura 34.



Figura 34. HAW 561
Fuente: (portal.edress, 2012)

Las características principales se muestran en la tabla 19:

Tabla 19.
Características *principales HAW 561*

Especificaciones	
Voltaje de Trabajo	275-350Vca
Corriente	125 ^a
Temperatura	-40°C....+80°C

Fuente: (portal.edress, 2012)

2.18. Software Connected Components Workbench

Connected Components Workbench (figura 35) posee un complejo conjunto de instrucciones, entornos de desarrollo de lógica de escalera, texto estructurado, diagramas de bloque de funciones y programas de bloque de funciones definidas por el usuario. Este software hace un uso extensivo de las normas de programación del PLC IEC 61131-3. Permite configurar y programar distintos dispositivos como controladores Micro800, variadores PowerFlex, dispositivos de relé de seguridad, terminales gráficos de PanelView. (Rockwell Automation, 2019)

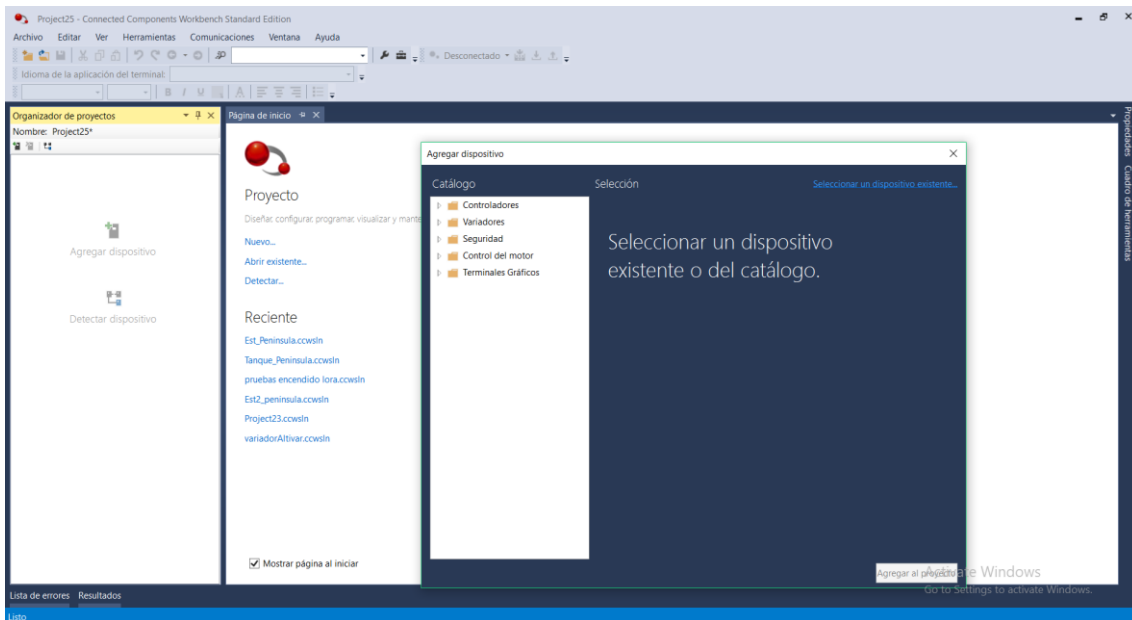


Figura 35. Interfaz del software Connected Components Workbench.

Fuente: (Rockwell Automation, 2019)

2.19. PV800 DesignStation

PV800 DesignStation (figura 36) es un componente del software Connected Components Workbench que permite crear aplicaciones para los terminales PanelView 800. Las aplicaciones diseñadas pueden descargarse al terminal gráfico mediante Ethernet, o transferirse usando una unidad flash USB o una tarjeta de almacenamiento micro-SD. (Rockwell Automation, 2018)

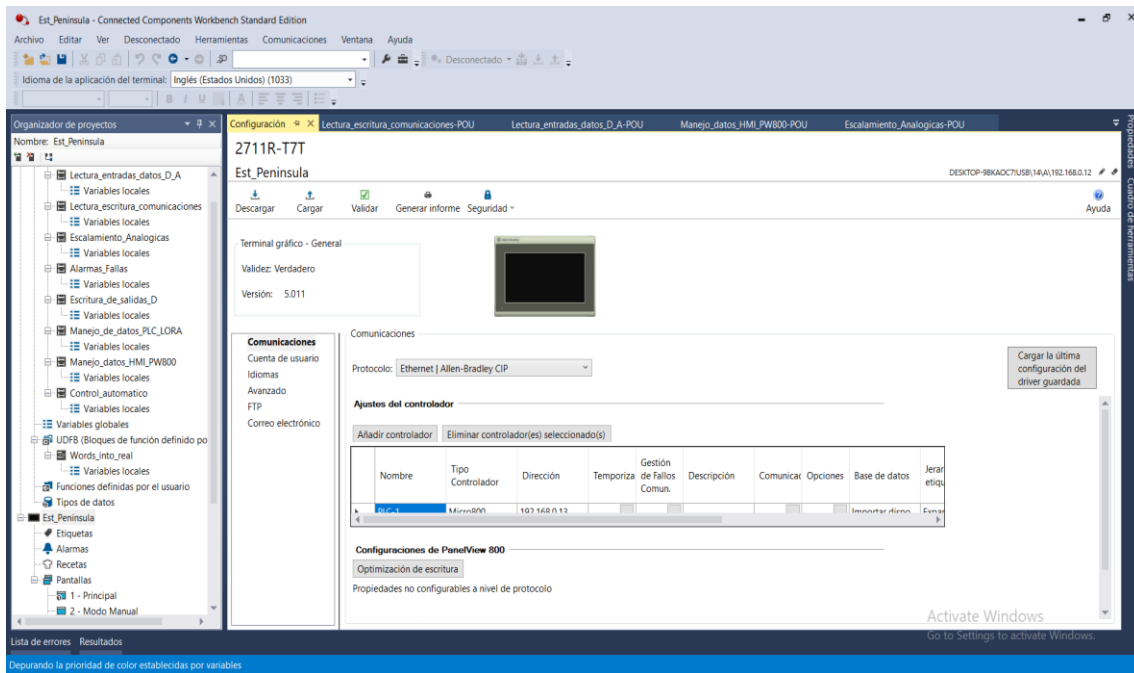


Figura 36. Interfaz software PV800 DesignStation.
Fuente: (Rockwell Automation, 2018)

2.20. Blender 2.79

Blender (figura 37) es un software dedicado especialmente al modelado de gráficos tridimensionales, iluminación, renderizado y animación. Utiliza la técnica procesal de nodos, edición de vídeo, escultura y pintura digital. Este programa es una alternativa gratuita para el diseño 3D, ya que es un software de código abierto compatible con Windows, GNU/Linux, Mac OS, FreeBSD. (blender.org)

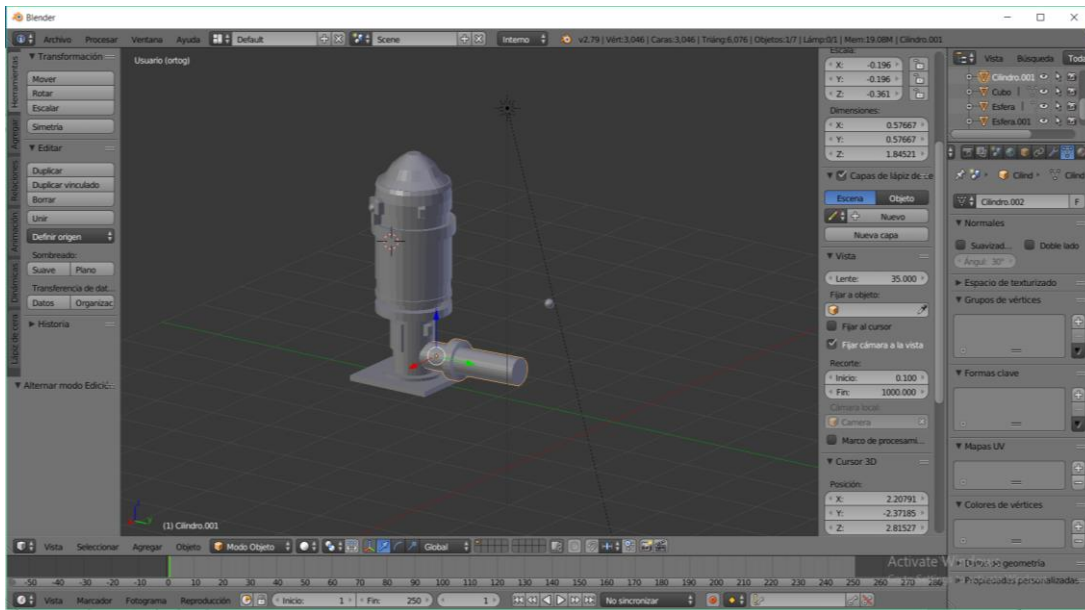


Figura 37. Interfaz software Blender 2.79

Fuente: (blender.org)

2.21. Entorno IDE Arduino

El entorno de desarrollo integrado (IDE) (figura 38) es un editor de código, un compilador, un depurador y un constructor de interfaz gráfica (GUI), que está escrita en Java. Se maneja para programar en placas compatibles con Arduino, pero también, se puede programar placas de desarrollo de otros proveedores. (arduino.cc, 2019)

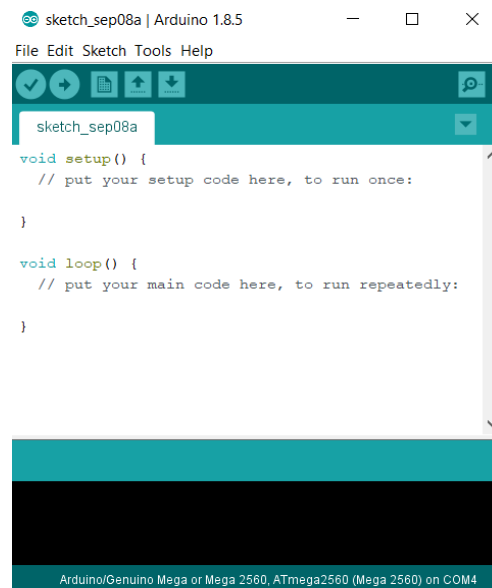


Figura 38. Entorno de desarrollo integrado (IDE)

Fuente: (arduino.cc, 2019)

2.22. Software AutoCAD

AutoCAD es un software de diseño asistido por computador CAD (figura 39), empleado para representaciones gráficas en 2 y 3 dimensiones muy usado dentro del ambiente estudiantil y también a nivel industrial sobre todo para la generación de planos, representaciones geográficas, diseño de piezas, estructuras entre otras. (3D CAD PORTAL, 2019)



Figura 39. Herramienta AutoCAD.
Fuente: (3D CAD PORTAL, 2019)

Como se puede apreciar en la figura 40 tiene un extenso menú con una alta gama de herramienta a usar desde simples líneas y formas en dos dimensiones hasta el empleo de un manejador de librerías con elementos prediseñados a usar en diferentes tipos de industria como por ejemplo la industria mecánica, eléctrica o arquitectónica. (3D CAD PORTAL, 2019)

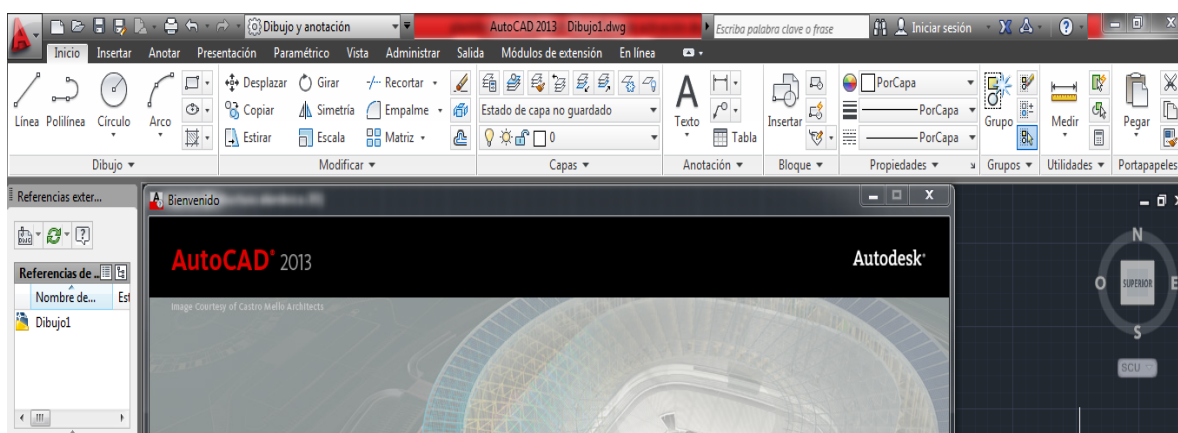


Figura 40. Menú de AutoCAD.
Fuente: (3D CAD PORTAL, 2019)

Su empleo es muy fácil y con entrenamiento continuo se puede llegar a dominar esta herramienta en su totalidad en un tiempo estimado de tan solo 3 meses. (3D CAD PORTAL, 2019)

2.23. Software SenixVIEW

Este software es empleado para la configuración de cualquier tipo de sensor SENIX su configuración puede ir desde un simple ajuste de parámetros hasta el cambio completo del funcionamiento estableciendo configuraciones formadas para poder luego implementarlas a otros sensores y crear así clones de funcionamiento. (SENIX, 2019)

El software como se puede apreciar en la figura 41 trae una interface muy fácil e iterativa, los tipos de funcionamiento del sensor dan su medida en tiempo real y se puede escoger el tipo de representación del dato ya sea este estadístico como numérico, además en su menú superior nos permite navegar y modificar los diferentes parámetros del equipo como lo son las salidas, la sensibilidad, respuesta de condición, rango operativo, filtros de salida, tasa de medición entre otros. (SENIX, 2019)

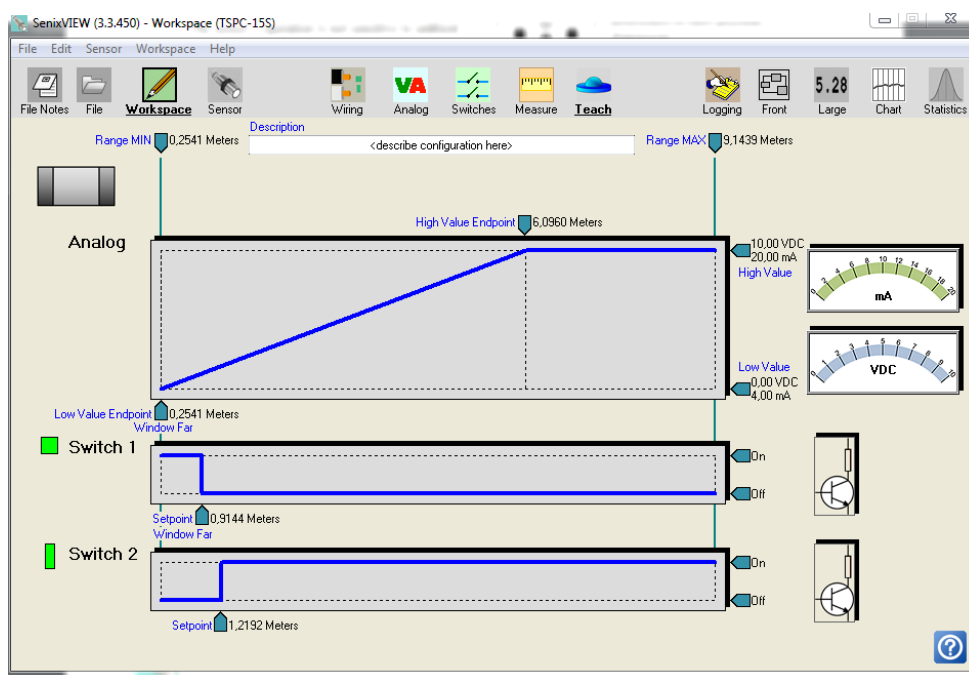


Figura 41. Software Senix View.

Fuente: (SENIX, 2019)

El software es intuitivo incluso sin saber cuáles son los parámetros de comunicación basta con conectar un equipo y seleccionar la opción de conectar para empezar a usarlo, trae incorporada una ventana de asistencia de comunicación (figura 42) que permite realizar un barrido de todos los posibles nodos de comunicación hasta encontrar con cual trabaja el sensor conectado y una vez hallado ya se puede comenzar su respectiva configuración.

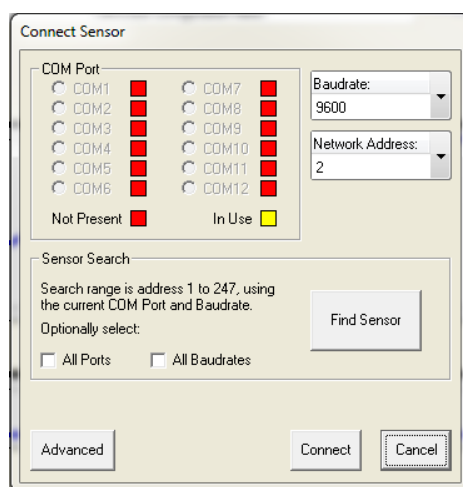


Figura 42. Conexión sensor SENIX

2.24. Software EBYTE

Este software permite modificar los parámetros de las tarjetas SX1278 SEMTECH de LORA, es un software muy intuitivo y su interface como se observa en la figura 43 es sumamente sencilla, ya que al conectar una tarjeta reconoce cuál es su rango de funcionamiento y permite modificar sus parámetros como son: la velocidad de comunicación, velocidad en aire, parámetros de paridad, potencia, canal, número de nodo entre otros, estableciéndolos dentro de los límites en los cuales puede operar.



Figura 43. Software EBYTE.

Fuente: (ebyte, 2017)

2.25. Software Proteus

Es un software de simulación muy atractivo para el diseño y la creación de circuitos electrónicos que cuenta con dos herramientas principales que son ISIS y ARES.

2.25.1. ISIS

En ISIS como se puede apreciar en la figura 44 se puede realizar el diseño de los circuitos a armar, es muy fácil de usar ya que cuenta con una librería del esquema de cada dispositivo electrónico que se necesita, con lo cual solo basta con seleccionarlo a la lista de materiales a usar y ya se puede empezar a trabajar con ellos.

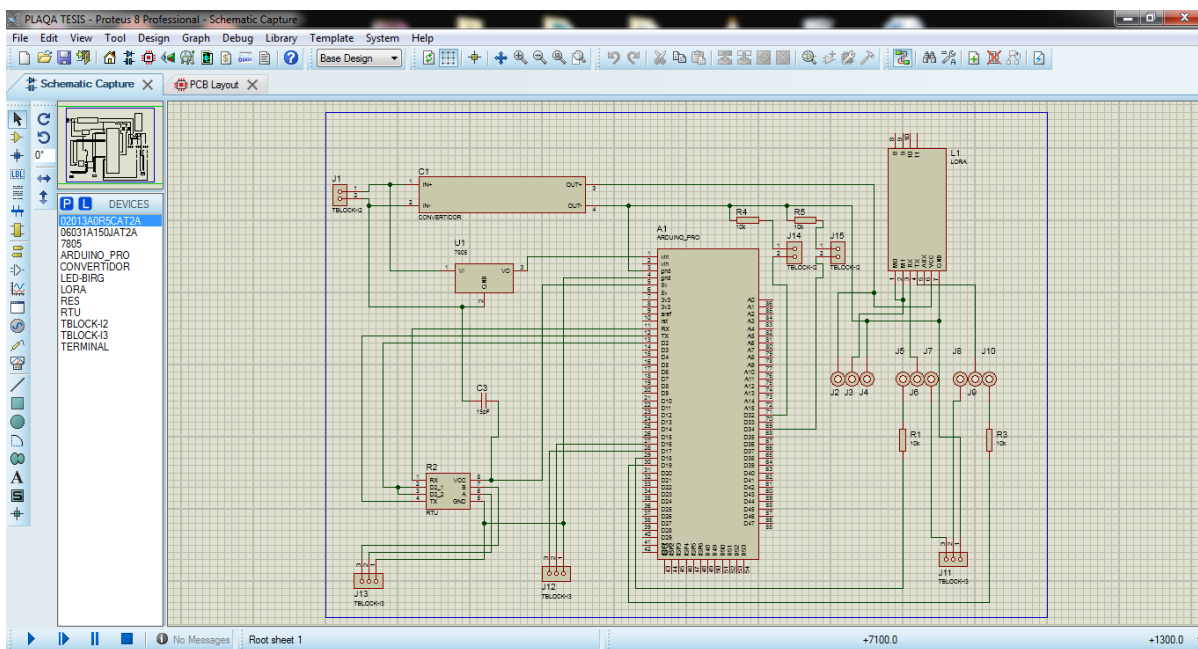


Figura 44. Proteus-ISIS

2.25.2. Ares

En Ares como se observa en la figura 45, se puede realizar el diseño de las pistas de conexión, así como también la ubicación que tendrán los elementos ya montados en la placa física para posteriormente realizar el impreso del diseño y la correspondiente elaboración de dicha placa.

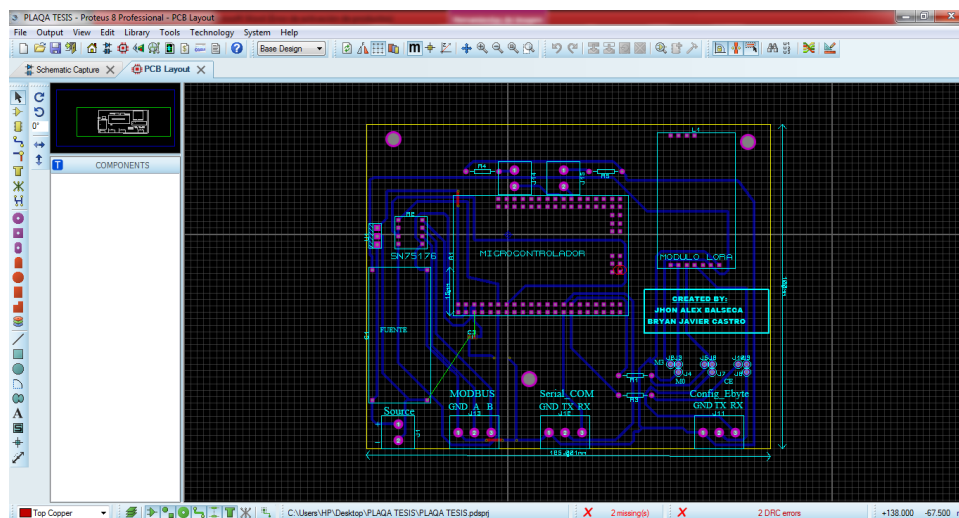


Figura 45. Proteus-ARES

2.26. SoMove 2.6

Es un software para el computador, que sirve para la configuración y monitoreo de equipos de control de motor de la marca Schneider Electric. En la figura 46 se muestra la interfaz gráfica del software SoMove 2.6.

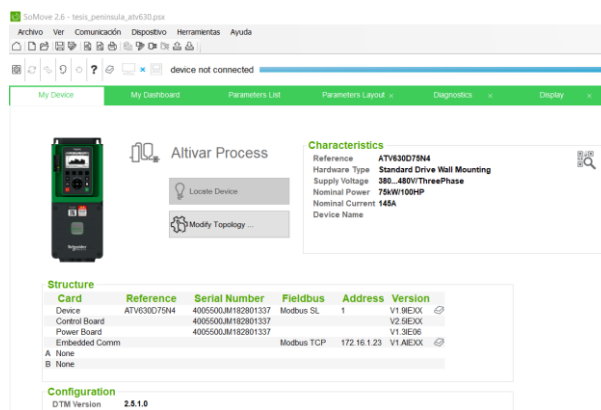


Figura 46. Interfaz software SoMove 2.6

CAPÍTULO III

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN

En el presente capítulo, se describe de manera detallada el diseño e implementación de la automatización de la estación de bombeo “La Península” de la empresa de agua potable y alcantarillado EP-EMAPA-A.

Para la comprensión de cada etapa del sistema automatizado se ha subdividido en seis secciones: elaboración de los planos eléctricos de los tableros industriales, conexión de las instalaciones eléctricas y electrónicas, diseño y construcción del enlace inalámbrico de radiofrecuencia, diseño y levantamiento del mapa de comunicaciones, implementación de lógicas de control de la estación de bombeo la Península y diseño de la interfaz de los terminales gráficos PanelView 800. El funcionamiento del sistema automatizado se muestra en la figura 47.

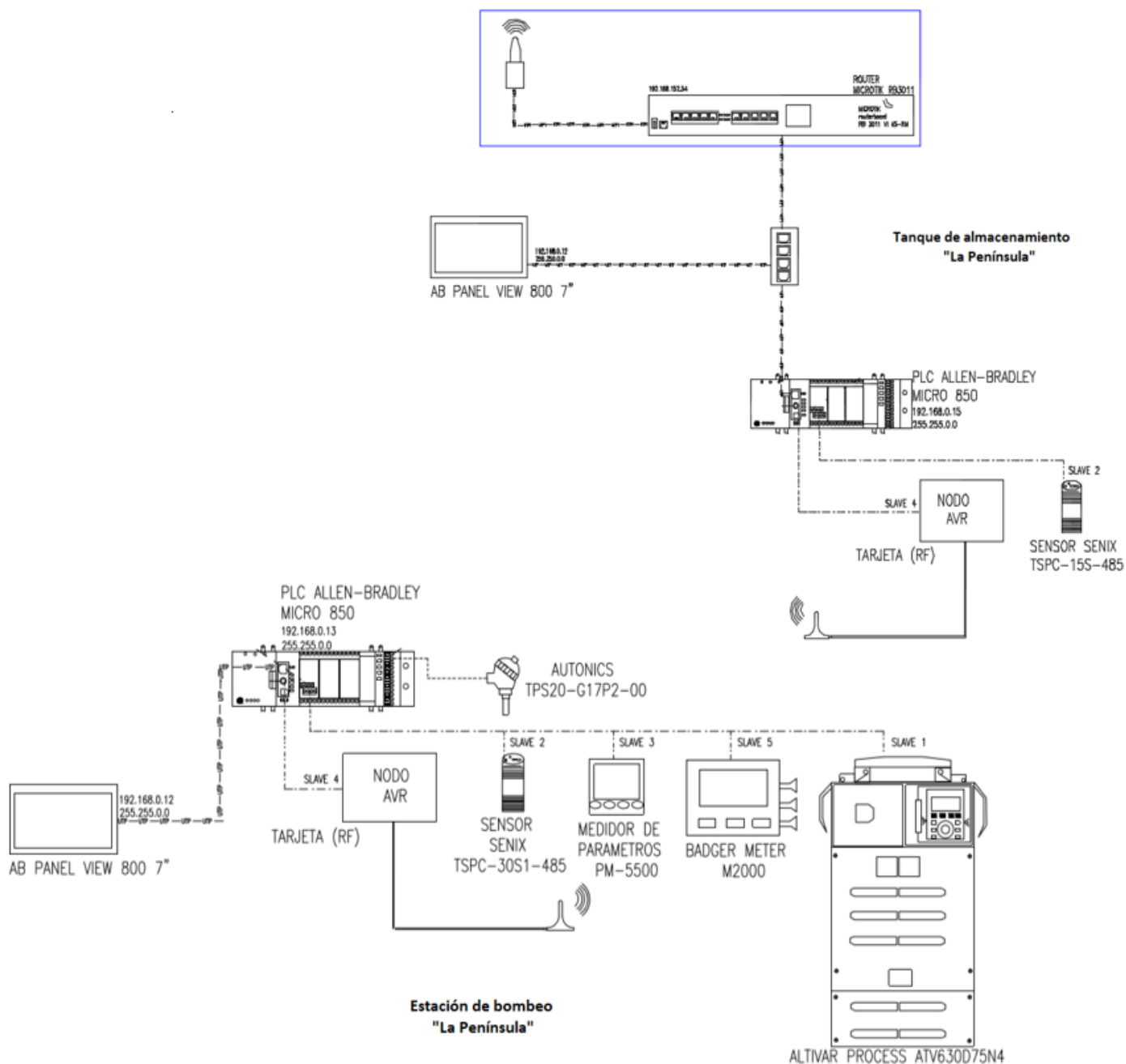


Figura 47. Esquema de funcionamiento del sistema automatizado.

3.1. Elaboración de los planos eléctricos de los tableros industriales

Para empezar con la automatización de la estación de bombeo se requiere tener todos los equipos, herramientas e infraestructura necesaria en el armado de los tableros ineludibles en dicha automatización, para esto, la distribución, armado y conexionado de los equipos provistos por la empresa “EP-EMAPA-A” deben ser sustentados mediante los planos eléctricos correspondientes a cada tablero de control, estos planos deben cumplir ciertos parámetros y normativas propios de la institución por lo cual mediante la asesoría de los ingenieros a cargo del área de mantenimiento de la empresa y el empleo del software de diseño AutoCAD fueron diseñados los planos tanto para el tablero de la estación de bombeo, así como para el tablero del tanque de almacenamiento, los mismos que se muestran en el Anexo A.

Bajo requerimientos de la institución “EP-EMAPA-A” los planos expuestos en el Anexo A están distribuidos de la siguiente manera:

- Plano de distribución de los tableros
- Plano de alimentación AC/DC
- Plano de comunicaciones
- Plano de diagrama unifilar
- Plano de diagrama fuerza/control
- Plano de entradas analógicas
- Plano de entradas digitales
- Plano de salidas digitales

3.2. Conexión de las instalaciones eléctricas y electrónicas.

Para la comprensión de las conexiones de las instalaciones eléctricas y electrónicas se subdividió en dos etapas: Conexión de las instalaciones eléctricas y electrónicas en el tanque de almacenamiento y conexión de las instalaciones eléctricas y electrónicas en la estación de bombeo.

3.2.1. Conexión de las instalaciones en el tanque de almacenamiento.

La estación de bombeo La Península ubicada en las faldas de la montaña de la parroquia La Península ubicada al lado de la Hidroeléctrica Ligla, toma el agua de una vertiente natural que llena su tanque de succión y bombea el líquido hacia el tanque de almacenamiento con la ayuda de dos bombas centrífugas verticales de 75 HP. El tanque de almacenamiento (figura 48) se encuentra ubicado en la parroquia la Concepción, al lado de la subestación eléctrica Trans-Electric, frente a la autopista Indoamerica.



Figura 48. Tanque de almacenamiento La Península

El tanque almacena y distribuye el agua potable por gravedad a la población de la parroquia de la Península. Actualmente el tanque no posee ningún tipo de instrumentación que permita medir el nivel del líquido, causando frecuentemente desbordamiento o niveles bajos en el tanque. Para evitar esto se instala un sensor de nivel ultrasónico TSPC-15S-485, cuya señal llega hasta un tablero de control que es instalado en la caseta (figura 49) existente en el sitio.



Figura 49. Caseta TK-P100

Para la instalación del sensor ultrasónico TSPC-15S-485 se inicia por la instalación de la tubería industrial por donde pasan los cables de alimentación y comunicación del sensor hasta la caja de paso y posteriormente llegando al tablero de control. Para colocar el sensor dentro del tanque se sujeta con una abrazadera industrial Titán T506 44-48 y ésta soldada a un soporte de tubo conduit metálico de ½”, como se ve en la figura 50.



Figura 50. Instalación del soporte del sensor TSPC-15S-485

El soporte del sensor es colocado en un lugar adecuado debajo del techo del tanque, considerando que el sensor no tenga obstrucción en la línea de vista hacia el agua y que esté

dentro del rango de medida. Para sujetar el sensor al concreto del tanque se usa: una canaleta metálica troquelada, vinchas de sujeción metálicas, pernos de ajuste a presión, tacos Fisher y tornillos tipo F10 como se muestra en la figura 51.



Figura 51. Sujeción del soporte del sensor TSPC-15S-485

Se realiza la instalación de la caja de paso metálica Sbox (figura 52) de dimensiones 200x200x100 mm sobre el concreto del techo del tanque con tacos Fisher y tornillos calibre F10. Para conectar el soporte a la caja de paso se usa uniones metálicas de $\frac{1}{2}$ ", codos curvos metálicos para instalaciones eléctricas de $\frac{1}{2}$ " y terminales EMT de $\frac{3}{4}$ ".



Figura 52. Instalación caja de paso metálica Sbox.

Para la tubería eléctrica que va desde la caja de paso hasta el final del techo del tanque (figura 53) se hizo uso de los materiales para tubería industrial descritos anteriormente, cabe recalcar que para el corte del tubo conduit se utiliza una sierra de mano y para el roscado de la tubería se lo realiza con una roscadora eléctrica WT-1074A (figura 54) utilizando el acople de ½”.



Figura 53. Instalación de la tubería industrial por fuera del tanque.



Figura 54. Roscadora eléctrica WT-1074A

A continuación, en el suelo de tierra se realiza un agujero de 40cm de profundidad (figura 55) desde el tanque hasta la pared de la caseta TK-P100 en el cual se coloca manguera negra de ½” la cual es empataada con tubería conduit metálica que va hacia adentro de la caseta, mediante codos metálicos de ½”.



Figura 55. Agujero de 40cm de profundidad en el suelo de tierra.

Luego, se realiza la instalación de la tubería eléctrica de metal dentro de la caseta, tanto para el sensor de nivel (figura 56), como para la alimentación del UPS (figura 57), dicha tubería se la arma con los materiales metálicos industriales descritos anteriormente.



Figura 56. Tubería eléctrica del sensor de nivel hacia el tablero de control



Figura 57. Tubería eléctrica para alimentación del UPS

A la par se instala el tablero de control de dimensiones 600X400x200mm en la pared de la caseta. Se realiza un agujero en la puerta del tablero de dimensiones de la pantalla PanelView 7”

con la ayuda de una amoladora de mano DeWALT (figura 58). Se utiliza una dobladora de tubo conduit manual de $\frac{1}{2}$ " a $\frac{3}{4}$ " (figura 59), para la tubería eléctrica.



Figura 58. Amoladora de mano DeWALT



Figura 59. Dobladora de tubo conduit manual de $\frac{1}{2}$ " a $\frac{3}{4}$ ".

a) **Puesta a tierra del tablero de control**

Una parte importante en un tablero eléctrico es la puesta tierra que se encarga de eliminar corrientes parásitas protegiendo de esta manera tanto a equipos, como operadores. Para realizar la conexión de la puesta a tierra se utiliza: tres metros de cable desnudo de cobre AWG #2 200 A, un metro de varilla de cobre, unión de cobre para tierra, barra de puesta a tierra 200 A y cinta autosoldable. La varilla de cobre es colocada en el suelo de tierra, debajo del medidor de luz ubicado afuera de la caseta y unida al cable de cobre mediante la unión de cobre (figura 60). Se

realiza un agujero en la pared de la caseta (figura 61) para el paso del cable de cobre que es conectado a la barra de puesta a tierra ubicado en el tablero, finalmente se envuelve el cable de cobre con cinta autosoldable (figura 62).

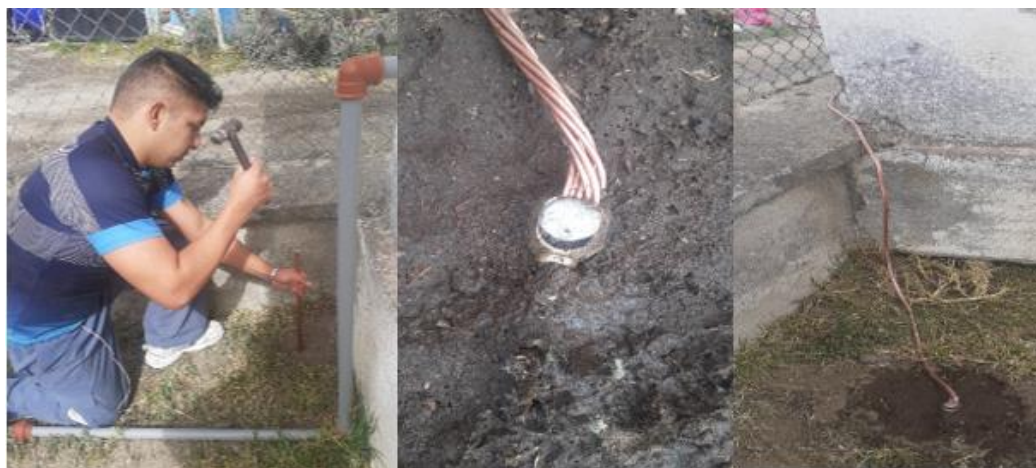


Figura 60. Instalación de la varilla de cobre.

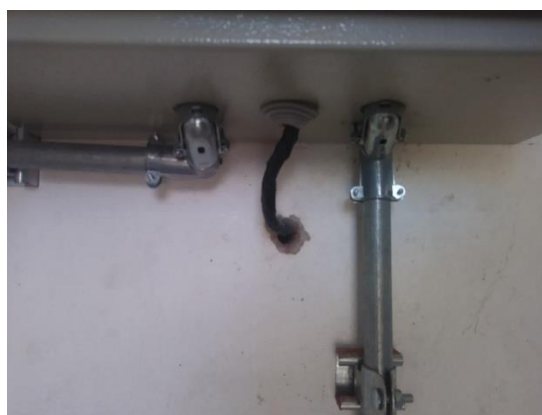


Figura 61. Perforado de la pared de la caseta TK-P100.



Figura 62. Conexión del cable de tierra con la barra de tierra.

b) Cableado del sensor TSPC-15S-485

Previamente para la conexión del sensor TSCPC-15S-485 en la caja de paso, se realizó el montaje del doble fondo de la caja de paso, en este doble fondo se realiza la instalación de 8cm de riel DIN, ajustado con tornillos auto perforantes, para colocar 4 borneras de paso tipo clamp cam para conexión de cable de calibre AWG 18 como se muestra en la figura 63.



Figura 63. Instalación del doble fondo, riel DIN y borneras en caja de paso.

El sensor TSPC-15S-485 se alimenta con +24V CC y la comunicación mediante protocolo MODBUS RTU. El diagrama de conexión del sensor se muestra en la figura 64.

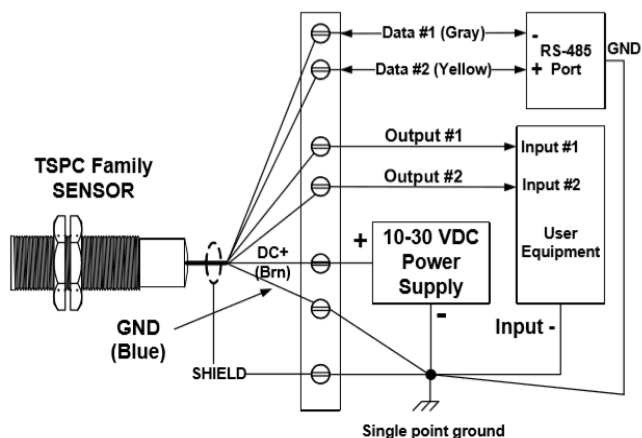


Figura 64. Conexiones TSPC-xxxx-485.

Fuente: (SENIX, 2015)

Los cables del sensor se conectan a las entradas de las borneras de la caja de paso, y de las salidas de las borneras se conecta con cable multifilar N° 18 color azul (+24V), blanco (0V), para comunicación MODBUS RTU y éstos son cableados hasta el tablero de control. El cableado por la tubería eléctrica se lo hizo con la ayuda de alambre galvanizado utilizado como guía. En la figura 65 se muestra el tablero de control con la llegada del cableado del sensor.



Figura 65. Cableado del sensor TSCPC-15S-485 hasta el tablero de control.

c) Montaje y cableado de los elementos que forman parte del tablero de control del tanque de almacenamiento.

Para el montaje y conexión de los equipos del tablero de control del tanque de almacenamiento se hizo en base a los diseños de los diferentes planos previamente realizados para este tablero, ya mencionados anteriormente, en donde se puede encontrar: lista de materiales, dimensionamiento y ubicación de los equipos, diagrama de conexión de alimentaciones y comunicaciones, protecciones etc.

En el doble fondo del tablero se traza con lápiz la ubicación de la canaleta de PVC ranurada de 20x25mm, con cubierta y del riel DIN de acuerdo al diseño previo. Para sujetar la canaleta y el riel DIN al doble fondo se usa tornillos auto perforantes con la ayuda de un taladro DeWALT XR inalámbrico como se muestra en la figura 66.



Figura 66. Taladro inalámbrico DeWALT XR

Se procede a colocar en el riel DIN y a conectar los materiales de acuerdo a los planos de conexión, mediante cable multifilar N° 18 de diferentes colores, colocando terminales tipo punta en los cables como se muestra en la figura 67. Se coloca el UPS y la lámpara led con su respectivo sensor final de carrera.



Figura 67. Montaje de elementos en el tablero de control del tanque de almacenamiento.

3.2.2. Conexión de las instalaciones eléctricas y electrónicas en la estación de bombeo La Península.

La estación de bombeo La Península se encuentra ubicada en las faldas de la montaña La Península, a lado de la hidroeléctrica Ligla. Cabe mencionar que, a diferencia del tanque de almacenamiento, la estación de bombeo si tiene conexiones eléctricas y electrónicas, las cuales son descritas a continuación. El estado de los equipos e instalaciones eléctricas y electrónicas de la Estación de Bombeo La Península se detalla en base al levantamiento de información realizado el mes de enero del año 2019.

El transformador principal es trifásico de 75 KVA enfriado con aceite, está instalado sobre postes de distribución eléctrica como se muestra en la figura 68, y cuenta con los dispositivos de protección regulares como seccionadores fusibles en el primario y secundario. Montado sobre el poste se encuentra un transformador monofásico de 3KVA que reduce el voltaje de 480VAC a 220/110VAC, alimentando los servicios generales de la estación.



Figura 68. Transformadores de la estación de bombeo

La salida trifásica del transformador de 75 KVA llega a un medidor de luz distribuyendo toda la energía al cuarto de máquinas y a la oficina del operador como se muestra en la figura 69.



Figura 69. Estación de Bombeo La Península.

La distribución de las conexiones eléctricas, tanto como para la energía de fuerza y de servicios generales no poseen un tablero de distribución. No están debidamente instaladas, se encuentran expuestas y representan un gran peligro para los técnicos y operadores como se muestra en la figura 70.

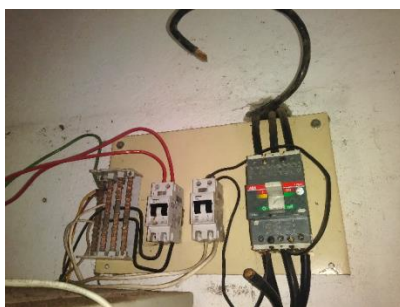


Figura 70. Distribución de las conexiones eléctricas.

En la estación están instalados dos tableros de variadores de frecuencia independientes, los variadores son de marca Schneider (izquierda) y Mitsubishi (derecha) como se indica en la figura 71. El tablero instalado con el variador Mitsubishi dañado está montado con conexiones temporales de fuerza y control desconectados.



Figura 71. Tableros de variadores de frecuencia.

El tablero que tiene el variador Schneider funcional posee sus circuitos de control deshabilitados a excepción del selector de cambio de bomba, las luces indicadoras no funcionan correctamente, no es posible comandar el variador desde los mandos instalados en la puerta del tablero, como se muestra en la figura 72. Los circuitos de ventilación e iluminación son inexistentes, el tablero opera con la puerta abierta debido a un mal diseño, lo que provoca el ingreso de polvo y humedad a los equipos.



Figura 72. Circuito de control.

En la estación se encuentra un PLC Unitronics con pantalla instalado en la puerta del tablero, este mismo posee el cableado de sus entradas y salidas digitales incompletas, sus entradas analógicas desconectadas y no posee puerto de comunicación RS-485 para realizar la red MODBUS RTU.

En cuanto a las conexiones internas del tablero hay una inexistencia de etiquetas descriptivas de los elementos y parciales del cableado como se muestra en la figura 73. No existen planos que identifique las conexiones del tablero. Los cables provenientes de los diferentes equipos fuera del tablero que llegan a éste están en mal estado, sueltos en el piso y cruzados con los cables de fuerza como se muestra en la figura 74.

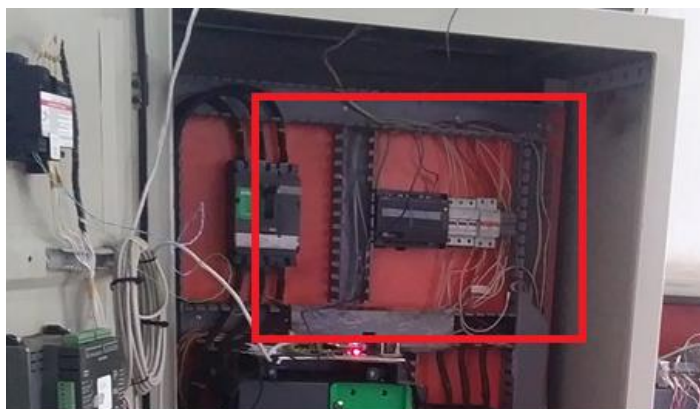


Figura 73. Inexistencia de etiquetas en las conexiones.

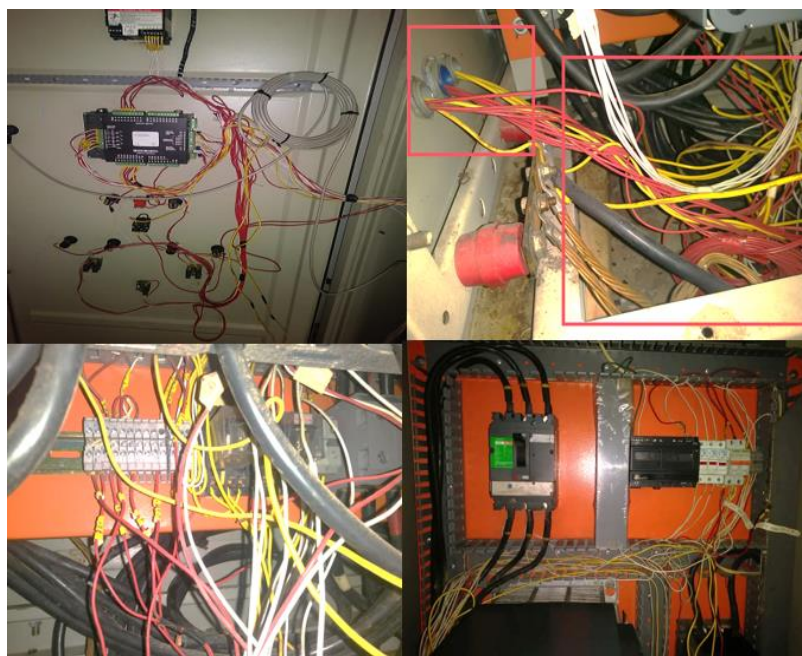


Figura 74. Cableado en mal estado.

Además, no está instalada una tierra para control e instrumentación independiente ya que la tierra de fuerza, aunque sea robusta estará contaminada por armónicos y corrientes parásitas generadas por el variador.

En cuanto a la instrumentación instalada en la estación es la siguiente: un sensor ultrasónico que por su estado no se pudo determinar la marca ni modelo, el cual está instalado en el tanque de succión de la estación como se muestra en la figura 75.



Figura 75. Sensor ultrasónico en deterioro.

Un medidor de caudal Badger meter M2000 como se indica en la figura 76.



Figura 76. Medidor de caudal Badger meter M2000.

El elemento primario de lectura del Badger meter M2000 se encuentra instalado a la línea de descarga que va hacia el tanque de almacenamiento como se muestra en la figura 77.



Figura 77. Elemento primario de medida del Badger meter M2000.

El medidor Badger Meter M-2000 se encuentra correctamente instalado de acuerdo a las recomendaciones del fabricante como se indica en la figura 78, pero la tierra de la carcasa del instrumento no está aterrizada.



CONTINÚA 

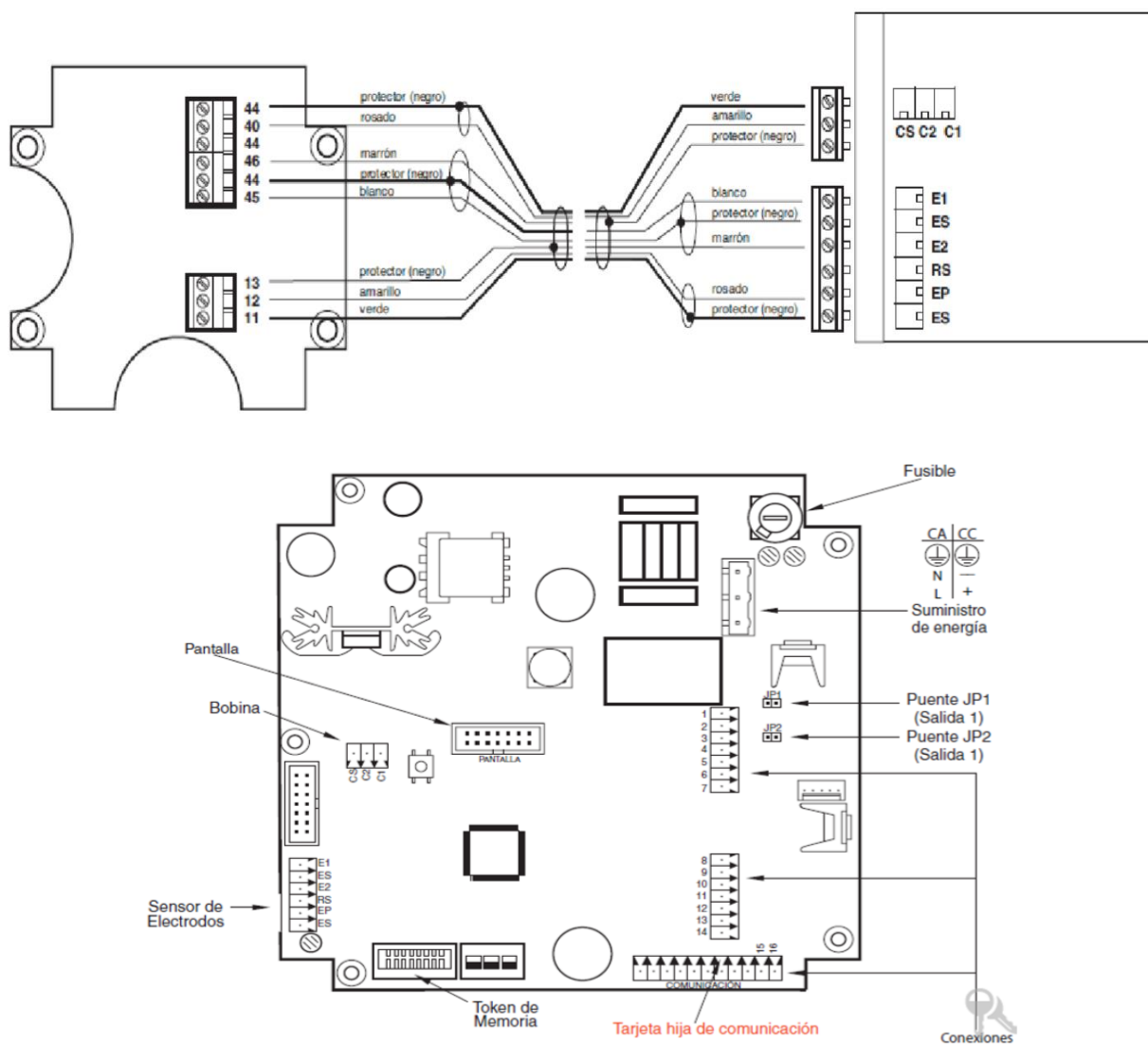


Figura 78. Instalación Badger Meter2000.

Fuente: (EQUYSIS, 2019)

Además, existe un transmisor de presión Autonics TPS20-G17P2-00 instalado a la línea de descarga de la tubería que va hacia el tanque de almacenamiento como se muestra en la figura 79.



Figura 79. Transmisor de presión Autonics TPS20-G17P2-00.

El transmisor de presión de marca Autonics, ayuda a diagnosticar obstrucción o la detección de fugas en la tubería de salida, el transmisor de dos hilos tiene un rango de 0-20 kg/cm² con salida de 4-20 mA. El transmisor de presión se encuentra correctamente instalado de acuerdo a las recomendaciones del fabricante como se muestra en la figura 80.

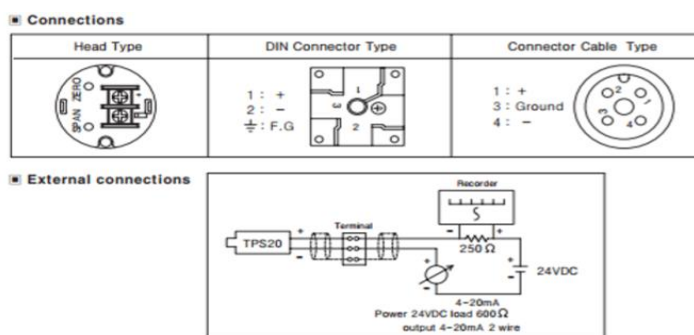


Figura 80. Instalación del transmisor de presión Autonics TPS20-G17P2-00.

Fuente: (AUTONICS, 2019)

En base al levantamiento de información de las instalaciones eléctricas y electrónicas de la estación de bombeo, realizado el mes de enero del año 2019 se determinó realizar:

- Un nuevo diseño y programación de la estación de bombeo considerando los instrumentos necesarios para la protección del proceso, comunicaciones y los equipos existentes.

- Instalación de un nuevo medidor de nivel ultrasónico ya que el actual se encuentra dañado, para monitorear el nivel del tanque de succión, este debe ser instalado en un soporte adecuado y el cableado debe ir por tubería hasta el tablero de fuerza y control.
- Desmontaje del tablero instalado con el variador Mitsubishi dañado.
- Reubicación de las tuberías eléctricas instaladas en la estación.
- Cambiar el tipo de cable de los instrumentos por uno adecuado dependiendo la aplicación de los mismos.
- La instalación de un nuevo tablero de fuerza y control de dimensiones 1800x800x600mm para la instalación de equipos requeridos, con un nuevo PLC ya que el actual no tiene respaldo ni repuestos necesarios, además limitada capacidad de comunicación. Hay que considerar que se pueden reutilizar muchos de los elementos del tablero actual.
- Se debe instalar una tierra para control e instrumentación independiente de la tierra de fuerza.
- La alimentación eléctrica para control e instrumentación se debe tomar desde una fuente regulada y soportada como el UPS.
- Instalar nuevos equipos de comunicación, levantar los enlaces de comunicación y dejar los datos listos para integrar al sistema SCADA de la central de monitoreo.

a) Instalación del sensor de nivel ultrasónico en el tanque de succión.

La estación de bombeo recoge el agua de una vertiente natural proveniente de las faldas de la montaña en un tanque de succión ubicado debajo del cuarto de máquinas donde está instalado un sensor ultrasónico dañado, el cual es desmontado. Para colocar el nuevo sensor Senix TSPC-30S1-485 dentro del tanque se lo sujeta con una abrazadera industrial Titán T506 soldada a un soporte de tubo conduit metálico de ½". El soporte del sensor fue colocado en una posición adecuado en el tanque de succión, considerando que el sensor no tenga obstrucción en la línea de vista hacia el agua y que este dentro del rango de medida. Para sujetar el sensor al tanque se usa

canaleta metálica troquelada, vinchas de sujeción metálicas, pernos de ajuste a presión, tacos Fisher y tornillos tipo F10 como se muestra en la figura 81.



Figura 81. Instalación del sensor Senix TSPC-30S1-485.

A continuación, se realiza la instalación de la tubería BX funda sellada de ½”, por donde pasan los cables de alimentación y comunicación del sensor hasta la caja de paso y posteriormente llegando al tablero de fuerza y control, como se ve en la figura 82.



Figura 82. Instalación de la funda sellada del sensor Senix TSPC-30S1-485

b) Reubicación de las tuberías eléctricas instaladas en la estación

Antes de instalar el nuevo tablero se hizo la reubicación de las tuberías eléctricas provenientes de los equipos instalados en la estación que llegan al tablero de control y fuerza. Para ello primeramente se hizo el desmontaje del tablero instalado con el variador Mitsubishi dañado. En la figura 83 se muestra la estación con el tablero desmontado.



Figura 83. Estación de bombeo con el tablero desmontado.

Una vez retirado el tablero con el variador Mitsubishi, se procede a la reubicación de la tubería funda sellada BX de $\frac{1}{2}$ ". Para sujetar la tubería a la pared se utiliza cinta metálica ajustada con tacos Fisher y tornillos F10 como se muestra en la figura 84.



Figura 84. Ajuste de la tubería funda sellada BX de 1/2" con la pared.

La reubicación de la tubería eléctrica proveniente del transmisor de presión Autonics TPS20-G17P2-00, medidor de caudal Badger meter M2000 y del sensor de nivel ultrasónico TSPC-30S1-485 llega hasta una de caja de paso plástica de 200x200x100mm como se muestra en la figura 85. Para el acople de la tubería funda sellada BX de 1/2" con la caja de paso se realiza con terminales BX de 1/2".



Figura 85. Reubicación de las tuberías eléctricas instaladas en la estación.

Debido a que los cables de alimentación e instrumentación de los diferentes equipos no eran los adecuados y están en deterioro, se procede al retiro y al cambio por el tipo de cable adecuado

dependiendo la aplicación: Cable multifilar color azul, blanco y verde AWG 18, para alimentación y tierra, cable blindado de comunicación MODBUS RTU (Badger meter M2000) y cable duro blindado de corriente (transmisor de presión).

c) Montaje y cableado de los elementos que forman parte del tablero fuerza y control de la estación.

Para el montaje y conexión de los equipos del tablero de fuerza y control de la estación se hace en base a los diseños de los diferentes planos previamente realizados para este tablero, ya mencionados anteriormente, en donde se puede encontrar: lista de materiales, dimensionamiento y ubicación de los equipos, diagrama de conexión de alimentaciones y comunicaciones, protecciones etc.

De acuerdo al diseño previo se traza con un lápiz el doble fondo del tablero de dimensiones 1800x800x600mm (figura 86) la ubicación de la canaleta de PVC ranurada de 40x40mm, riel DIN, transformador 9T58k2813, barras de alimentación de 200A.



Figura 86. Tablero de dimensiones 1800x800x600mm

Para sujetar la canaleta y el riel DIN al doble fondo se hizo uso de tornillos auto perforantes. Para sujetar el transformador se utiliza pernos a presión y finalmente para sujetar las barras de alimentación de 200A se utiliza seis aisladores de voltaje de diferentes tamaños (en escalera). En las barras de alimentación se coloca terminales tipo talón para cable AWG 2 y para cable AWG 8 como se muestra en la figura 87.

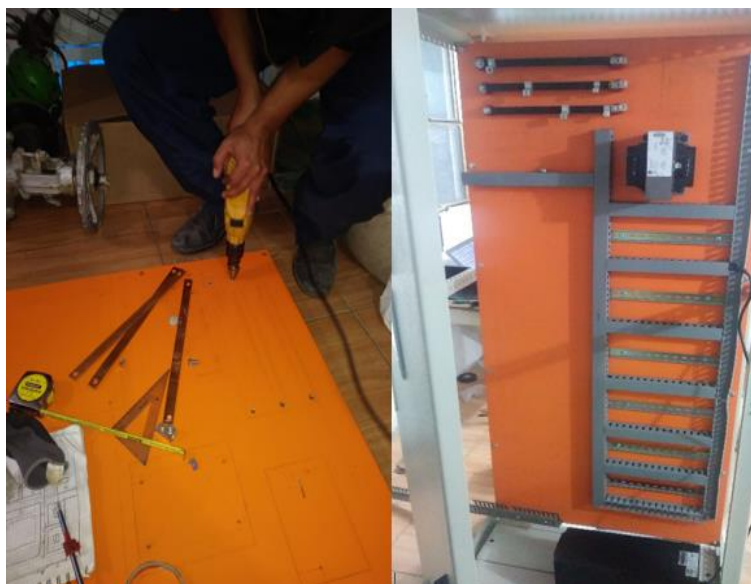


Figura 87. Perforado del doble fondo del tablero de la estación.

Se procede a colocar en el riel DIN y a conectar los equipos de control acuerdo a los planos de conexión, mediante cable multifilar AWG 18 de diferentes colores, colocando terminales tipo punta en los cables como se muestra en la figura 88.



Figura 88. Montaje de elementos de control el tablero de la estación.

Para colocar los equipos en la puerta del tablero de fuerza y control se procede a trazar la ubicación de los elementos y posteriormente se hace el corte con la ayuda de una amoladora de mano como se muestra en la figura 89.



Figura 89. Corte de la puerta del tablero de fuerza y control

Para realizar los agujeros redondos en la puerta y laterales del tablero se lo realiza con una prensa sacabocados hidráulica de diferentes medidas. En la puerta del tablero se coloca: Un medidor de parámetros PM5500, un terminal gráfico PanelView 800, un ventilador F2E-260B-230, un filtro de aire, un pulsador paro de emergencia de 110/220V, dos selectores de 3 estados de 110/220V, un selector de 2 estados de 110/220V, una alarma de 220V y cinco indicadores de diferentes colores de 110/220V. En la figura 90 se muestra los elementos montados en la puerta del tablero.



Figura 90. Instalación de los elementos en la puerta del tablero de fuerza y control.

d) Instalación del nuevo tablero de fuerza y control en la estación de bombeo

Para la instalación del nuevo tablero de fuerza y control primeramente se realiza el desmontaje del antiguo tablero y para esto se realiza por seguridad el corte de energía del devanado primario del transformador trifásico de 75 KVA que alimenta a toda la estación. Para el corte de energía del transformador emplea una pértiga y de los diferentes implementos de seguridad industrial como se muestra en la figura 91.



Figura 91. Corte de energía de transformador trifásico de 75 KVA.

Una vez desconectada la energía eléctrica se procede a la desconexión y retirado de los cables de fuerza, alimentación de servicios generales y control de toda la estación. Una vez retirado todos los cables del tablero se procede a su desmontaje. A continuación, se realiza la instalación de las conexiones de la alimentación de los servicios generales de la estación en una caja de breakers de dos puntos (figura 92) de acuerdo al diseño del plano correspondiente.



Figura 92. Caja de breakers servicios generales.

Posteriormente se ubica el nuevo tablero en la estación y se procede a la conexión de los cables de fuerza de calibre AWG 2 y de los cables de control de acuerdo al plano correspondiente. Para el cableado de fuerza se utiliza una cortadora de cable grueso, terminales para cable calibre AWG 2, cinta autosoldable, funda termocogible y una ponchadora hidráulica CAMSCO como se indica en la figura 93.



Figura 93. Ponchadora hidráulica CAMSCO

Una vez realizada todas las conexiones necesarias se procede a energizar el transformador principal trifásico de 75 KVA y poner en marcha el bombeo para suministrar inmediatamente de agua potable a la población de la zona. Hay que mencionar que el tablero de fuerza y control se puso en funcionamiento temporalmente en modo “Control desde pantalla del variador” el cual permite controlar la estación desde la pantalla propia del variador. Este modo de operación

inhabilita el control desde la PANELVIEW en conjunto con el PLC hasta realizar sus respectivas lógicas de funcionamiento. Más adelante se explicará a detalle la filosofía de funcionamiento que posee el tablero. En la figura 94 muestra la puesta en marcha del nuevo tablero de la estación.



Figura 94. Puesta en marcha del nuevo tablero de la estación.

3.3. Diseño y construcción del enlace inalámbrico de radiofrecuencia

Para la automatización de la estación de bombeo es estrictamente necesario que exista comunicación bidireccional entre el tanque de almacenamiento y la estación de bombeo, con el fin de que los datos de la estación de bombeo suban al tanque y los datos del tanque bajen a la estación. El propósito es el control y monitoreo de la estación de bombeo localmente (estación) y remotamente (tanque de almacenamiento) y a un futuro el control y monitoreo desde el SCADA de la central de monitoreo. El tanque de almacenamiento y la estación están separados por una distancia a nivel de relieve de aproximadamente 510 m sin línea de vista.

La implementación de una comunicación alámbrica no es apropiada, motivo por el cual se opta por una conexión inalámbrica por enlace de radio frecuencia, utilizando la robustez de la

tecnológica LORA. En la figura 95 se muestra la distancia existente en el tanque de almacenamiento y la estación.

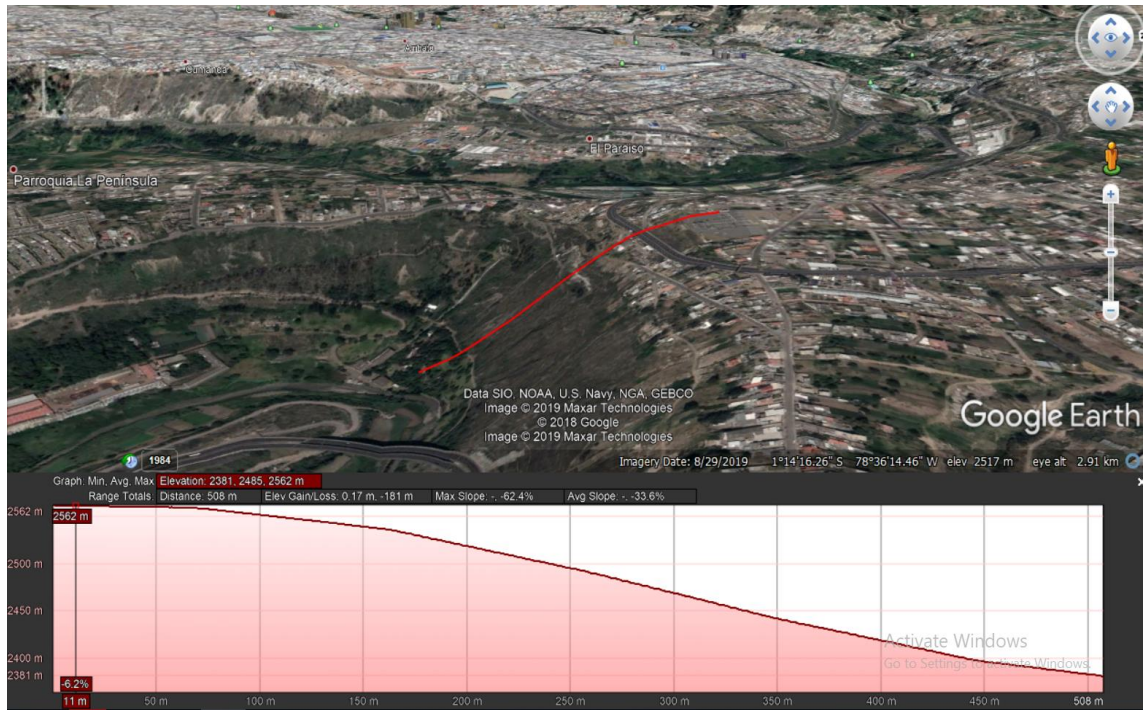


Figura 95. Distancia existente en el tanque de almacenamiento y la estación.

3.3.1. Diseño de hardware

a) Análisis de las posibles soluciones.

Existen varias posibilidades de integración de equipos industriales con tecnología inalámbrica. Una de ellas es mediante el uso de pasarelas de comunicación, en el mercado existe una gran diversidad de pasarelas de todos los tipos. Estas pasarelas de protocolos están encargadas de adaptar la trama de un mensaje de un protocolo para que pueda ser manipulada y utilizada por otro protocolo de distinta configuración. Un ejemplo son los nodos inalámbricos SureCross DX80 FlexPower que vienen en frecuencias de 2.4 GHz y 900 GHz.

Usar equipos de empresas influyentes como BANNER o PROSOFT, para la implementación del proyecto resulta un costo alto (La empresa EP-EMAPA-A no costea este tipo de equipos) ya que para esta aplicación se necesita equipos inalámbricos transeptores que sean robustos y de largo alcance que puedan comunicarse aproximadamente ½ Km de distancia sin línea de vista. Para la comunicación inalámbrica se opta por el uso de tecnología LORA.

b) Justificación de la alternativa seleccionada.

El presente proyecto se encuentra orientado a plantear la opción del diseño de un nuevo equipo que permita la integración de equipos con protocolo de comunicación industriales MODBUS RTU con la nueva tecnología LORA. La tecnología LORA tiene varias ventajas que determinaron el uso de esta tecnología como:

- Bajo costo de implementación
- Largo alcance de comunicación
- Bajo consumo
- Diseñados para trabajo en procesos industriales debido a su alta robustez ante interferencias.

3.3.2. Descripción del funcionamiento del nodo AVR

El control y monitoreo tanto local como remoto de la estación de bombeo estará controlada por PLCs Allen Bradley micro 850 de la empresa Rockwell Automation. Para realizar el control y monitoreo tanto en el PLC local como en el PLC remoto se necesita que estos PLCs puedan comunicarse inalámbricamente entre ellos.

Para que los PLCs Allen Bradley puedan transmitir inalámbricamente los datos se utiliza un módulo inalámbrico E32-TTL-1W(433T30D) que utiliza tecnología LORA. Para el enlace de los controladores de Rockwell Automation con la tecnología LORA, se hace uso de un microcontrolador AVR intermediario que gestionará tanto la comunicación del PLC como la del

módulo inalámbrico. En la figura 96 se muestra el diagrama de bloques de funcionamiento del microcontrolador AVR.

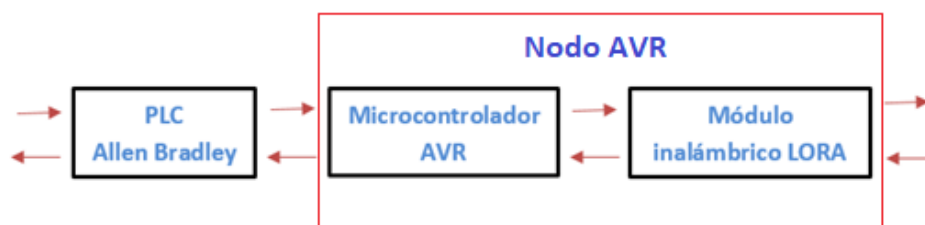


Figura 96. Diagrama de bloques de funcionamiento del microcontrolador AVR.

La tarjeta microcontroladora es una RobotDyn ATmega2560 en la figura 97 se muestra las dimensiones.

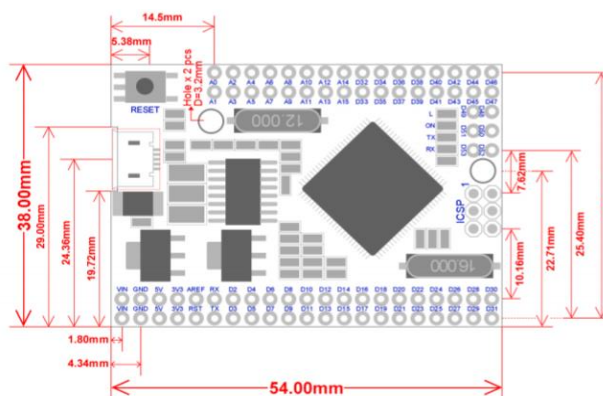


Figura 97. Dimensiones de la tarjeta microcontroladora.

Fuente: (RobotDyn, 2017)

El microcontrolador embebido en la tarjeta RobotDyn es un ATmega2560 (figura 98) CMOS de 8 bits de baja potencia basado en el AVR mejorado bits de alto rendimiento y bajo consumo. Al ejecutar potentes instrucciones en un solo ciclo de reloj, el dispositivo alcanza un rendimiento

cercano a 1 MIPS por MHz, diseñado para optimizar el consumo de energía versus la velocidad de procesamiento.

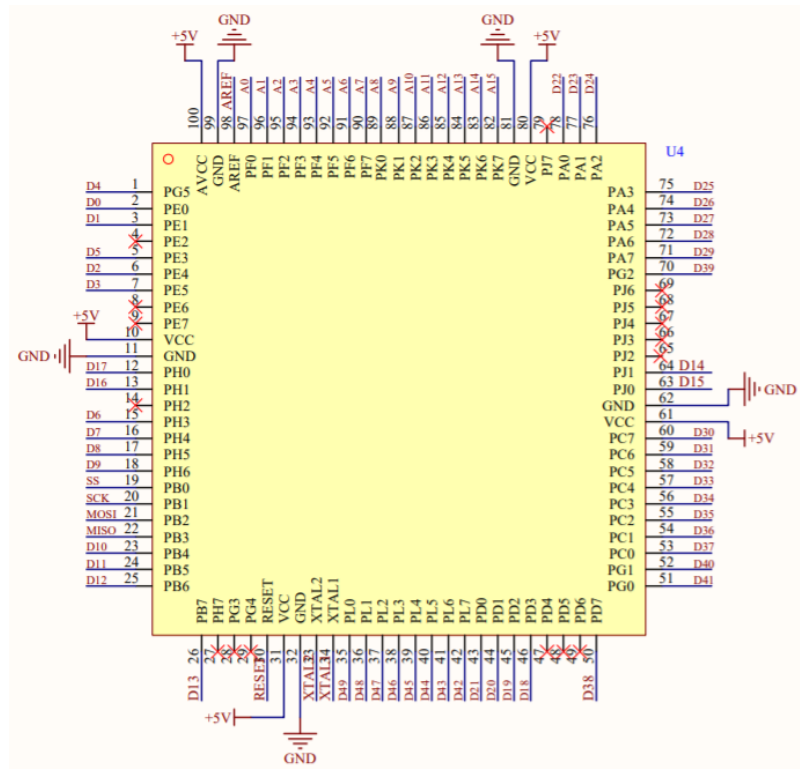


Figura 98. Microcontrolador ATmega2560 embebido en la tarjeta RobotDyn.
Fuente: (RobotDyn, 2017)

Para el presente proyecto se hace uso de tres puertos seriales USARTs del microcontrolador para diferentes propósitos los cuales son mencionados a continuación. El puerto serial_0 se lo usa para comunicar el microcontrolador con el PLC Allen Bradley mediante el medio físico de comunicación RS-485. Las salidas seriales del microcontrolador son señales TTL para convertirlas en señales RS-485 se utiliza un conversor TTL a RS-485. El puerto serial_1 se usa para dos propósitos dependiendo de la posición de los jumpers (M0 o M3). Cuando se encuentra en el modo M0 el canal USART y el canal inalámbrico del módulo E32-TTL-1W están abiertos, la transmisión trabaja normalmente. Cuando se encuentra en el modo M3 se lo usa para cambiar

los parámetros de configuración del módulo inalámbrico mediante una PC con el software EBYTE, con la ayuda de un conversor TTL-USB. Y finalmente el puerto serial_2 se los usa para el monitoreo de las tramas enviadas, tramas recibidas y datos perdidos de la comunicación inalámbrica. El puerto serial_2 se conecta a una PC mediante un conversor TTL-USB, en donde se puede visualizar los datos en la PC mediante cualquier software con monitor serial.

Finalmente, En la figura 99 se muestra el diagrama de bloques del funcionamiento del nodo AVR.

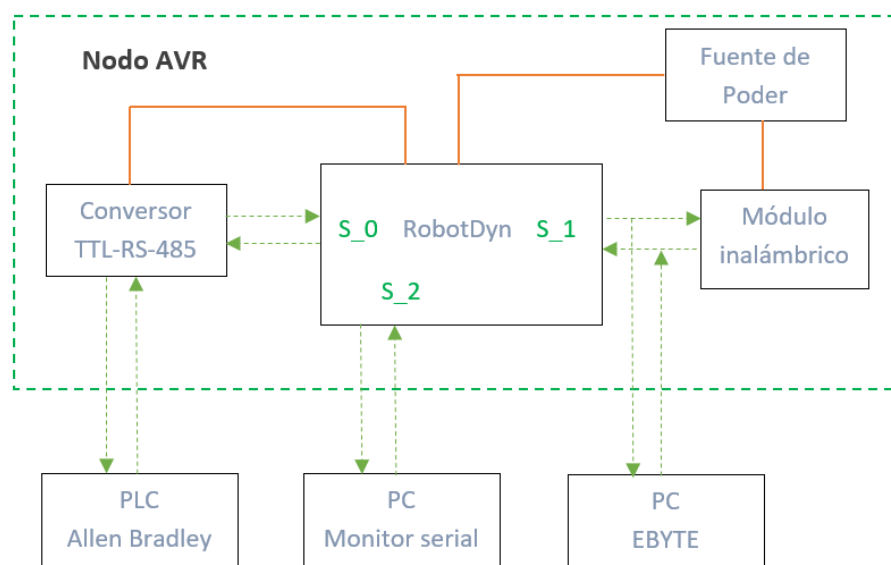


Figura 99. Diagrama de bloques del funcionamiento del nodo AVR.

Teniendo claro el esquema funcionamiento se procede al diseño electrónico del nodo AVR. Para el diseño de la circuitería se hace en base a las recomendaciones técnicas dadas por el fabricante de cada componente a utilizar en la placa. La placa se la diseña en el software de automatización de diseño electrónico PROTEUS 8 Profesional, utilizando el componente ISIS para el diseño del plano electrónico del circuito con los diferentes componentes prediseñados. En la figura 100 se, muestra el diseño del plano electrónico de la placa realizado en ISIS.

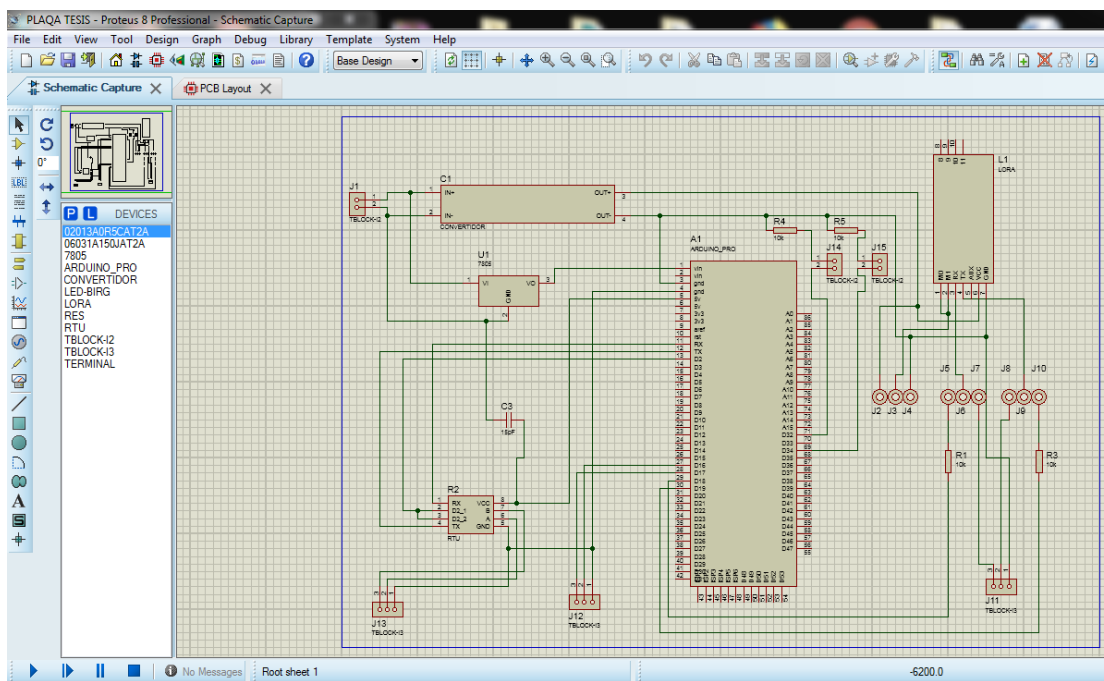


Figura 100. Diseño del plano electrónico de la placa realizado en ISIS.

Los principales componentes electrónicos utilizados para el diseño de la placa son los siguientes:

- Un módulo inalámbrico E32-TTL-1W.
- Una tarjeta RobotDyn ATmega2560.
- Un integrado RS485 SN75176.
- Un regulador de voltaje 7808.
- Un regulador Step Down Lm2596 3A
- Una fuente de poder de 12V a 5A
- Un ventilador DC de 12 V.
- 2 resistencias 330 ohm.
- 2 resistencias 4,7 Kohm.
- 1 capacitor de 1nF.
- 4 terminales de salida tipo borneras desmontables.

- 3 juegos de jumper.

El plano diseñado en ISIS se exporta a la herramienta ARES la cual permite el enrutado de las pistas, ubicación y edición de componentes, para la fabricación de placa de circuito impreso. En la figura 101 se muestra el diseño de la placa en ARES.

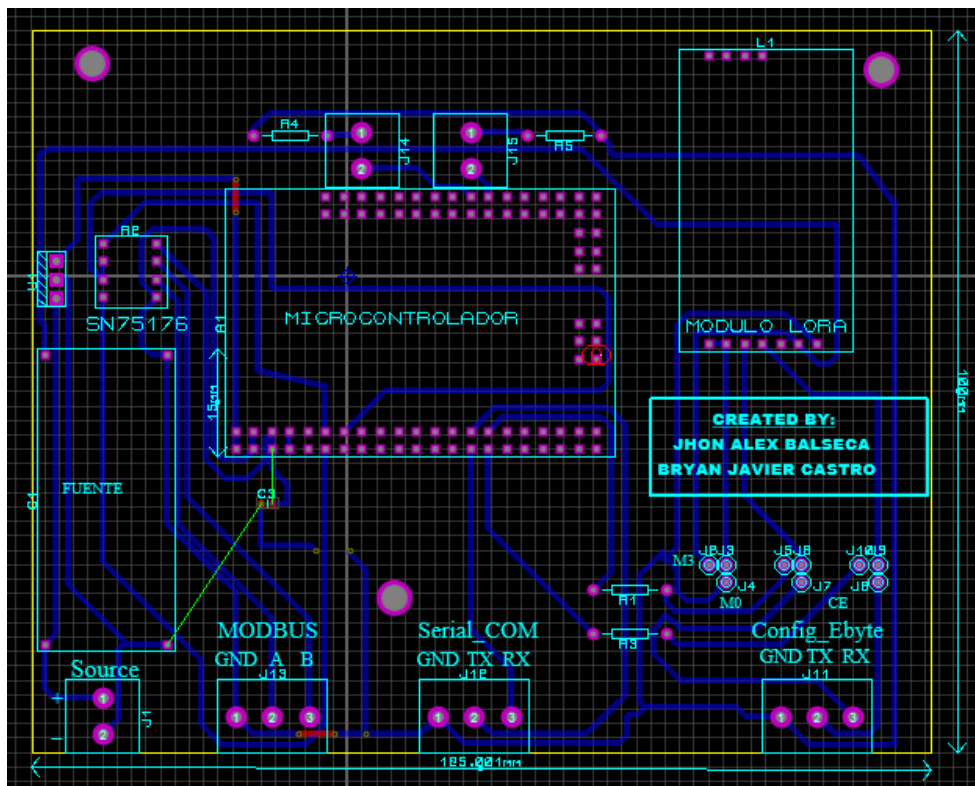


Figura 101. Diseño de la placa en ARES.

Para la fabricación del PCB se lo realiza mediante el método de transferencia de tonner (método de la plancha), utilizando una placa baquelita de fibra de vidrio. Los pasos para la realización de este método son los típicamente tradicionales. En la figura 102 se muestra el terminado final del PCB de los nodos AVR.

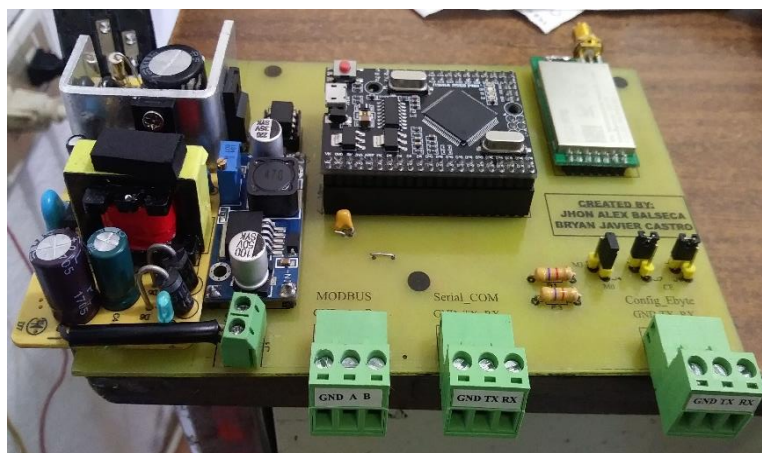


Figura 102. Placa final del PCB de los nodos AVR.

Los nodos AVR van a colocarse en los tableros industriales posteriormente, para la protección de los nodos AVR se diseña e implementa una carcasa protectora de acrílico transparente, la cual permite el montaje en el riel DIN de los tableros industriales. En la figura 103 se muestra el montaje de la carcasa en las placas de los nodos AVR.

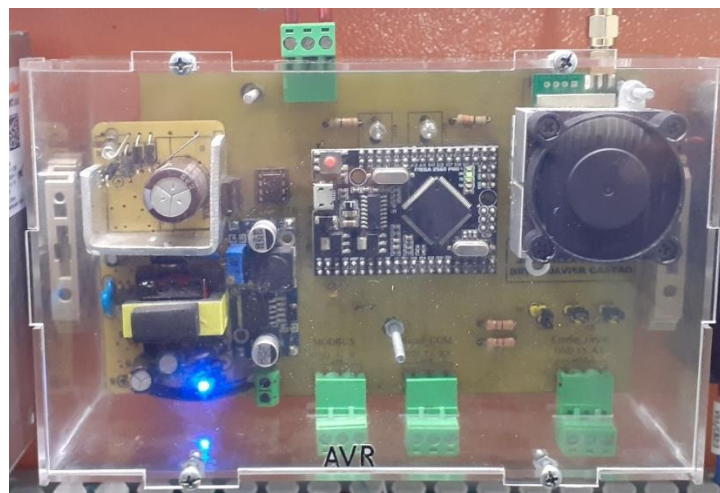


Figura 103. Montaje de la carcasa en las placas de los nodos AVR.

3.3.3. Diseño del software

Para la comunicación del nodo AVR con el PLC Allen Bradley se emplea el protocolo MODBUS RTU ya que es un protocolo de comunicaciones estándar de facto en la industria, es el que goza de mayor disponibilidad para la conexión de dispositivos electrónicos industriales. Para que la tarjeta RobotDyn entienda el protocolo MODBUS RTU en capa física RS-485 utiliza la librería <SimpleModbusSlave.h>. Esta librería permite al nodo AVR desenvolverse como un esclavo de la red, cumpliendo todos los estándares del protocolo. Las funciones implementadas son las funciones 3 y 16 del protocolo.

Internamente se crea un total de 35 registros MODBUS entre registros de lectura y escritura, estos registros se almacenan en variables temporales, para luego entramar o desentramar (punteros) dependiendo la aplicación. En la figura 104 se muestra el diagrama de bloques de la lógica de las variables internas de la tarjeta RobotDyn del nodo AVR de la estación.

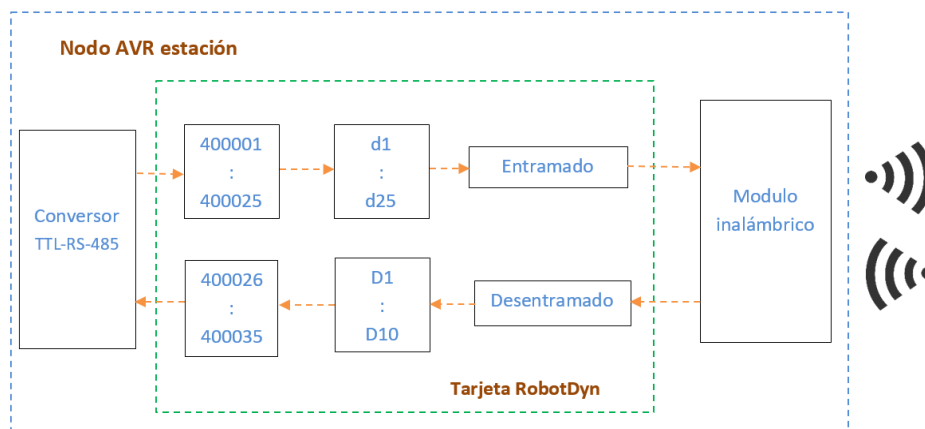


Figura 104. Diagrama de bloques de la lógica del nodo AVR de la estación.

En la figura 105 se muestra el diagrama de bloques de la lógica de las variables internas de la tarjeta RobotDyn del nodo AVR del tanque de almacenamiento.

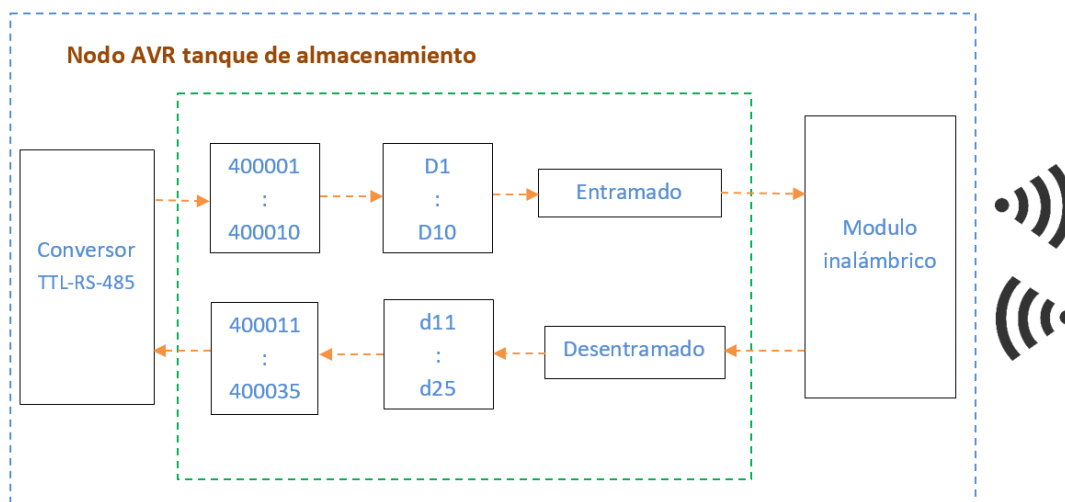


Figura 105. Diagrama de la lógica del nodo AVR del Tanque de Almacenamiento

3.3.4. Filosofía de funcionamiento

La topología de funcionamiento de la comunicación inalámbrica es punto a punto. El nodo AVR de la estación envía la trama al nodo AVR del tanque de almacenamiento y solamente cuando llega la trama al buffer del nodo AVR del tanque, éste desentrama la información y envía la nueva trama hacia el nodo de la estación. Y viceversa cuando el nodo AVR del tanque envía la trama al nodo de la estación y solamente cuando llega la trama al buffer del nodo AVR de la estación, éste desentrama la información y vuelve a enviar la nueva trama. En caso de que se pierda una trama por diferentes factores, el nodo AVR de la estación espera 2 segundos y vuelve a enviar la trama haciendo que vuelva la comunicación. Además, cada nodo AVR tiene un led verde y rojo que muestra el estado de la comunicación. El tiempo de comunicación en aire es de 250ms. En la figura 106 se muestra el diagrama de bloques del funcionamiento en conjunto de ambos nodos AVR.

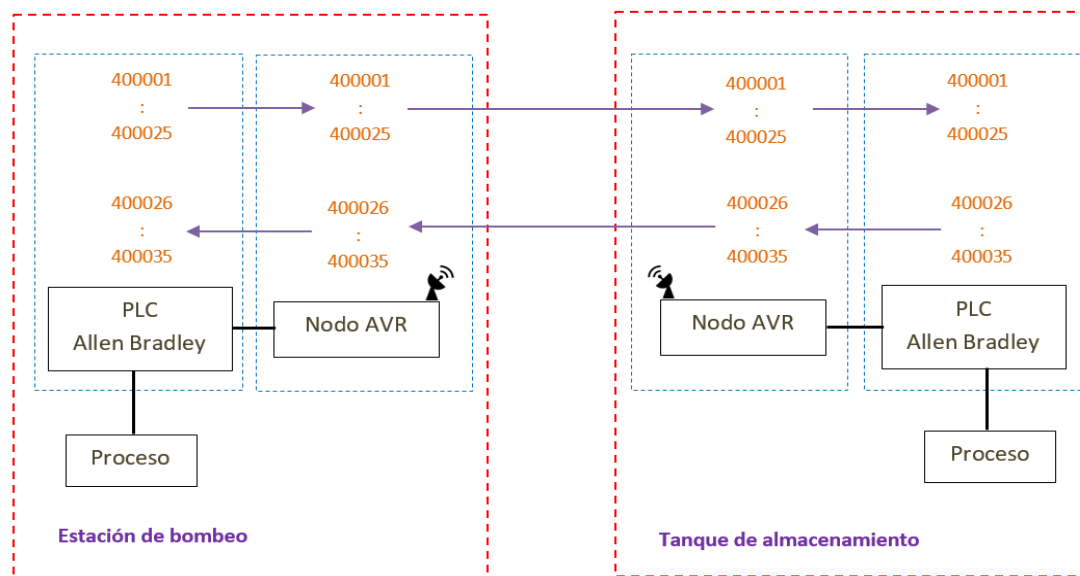


Figura 106. Diagrama de bloques del funcionamiento en conjunto de ambos nodos AVR.

3.3.5. Configuración de los parámetros del módulo inalámbrico E32-TTL-1W.

Para configurar se coloca los jumpers en el modo M3 el cual se lo usa para el cambio de los parámetros de configuración del módulo inalámbrico, mediante una PC con el software EBYTE, con la ayuda de un conversor TTL-USB.

El enlace inalámbrico de radiofrecuencia emplea el protocolo de comunicación LORA, las tarjetas transceptoras LORA, para interconectarse tienen que configurarse con los mismos parámetros. En la figura 107 se muestra los parámetros de configuración.

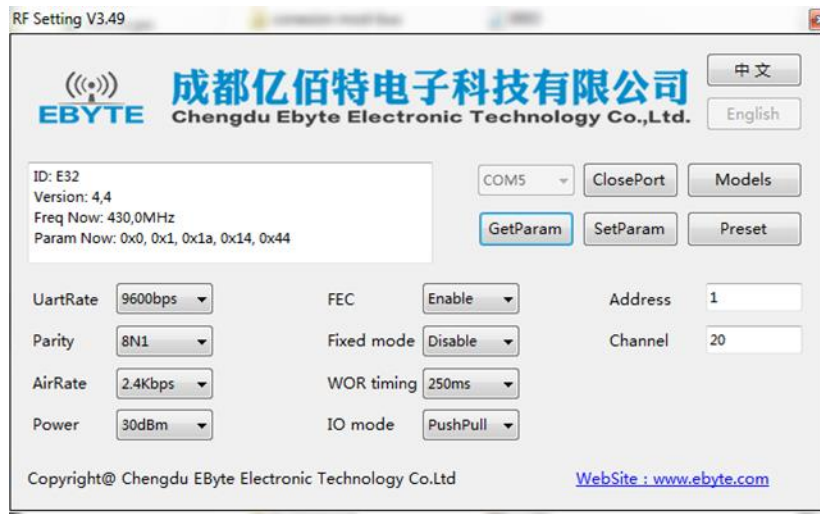


Figura 107. Configuración de la tarjeta transceptora LORA

La frecuencia de trabajo es de 430MHz por lo cual mediante las ecuaciones para el cálculo de la longitud de la antena se la determina de la siguiente manera:

Primero calculamos la longitud de onda con la ecuación 1 de lo cual tenemos:

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 * 10^8 \text{ m/s}}{430\text{MHz}} = 0,698 \text{ m} \quad (1)$$

Teniendo la longitud de onda, la longitud de la antena se obtiene mediante la ecuación 2 de la siguiente manera:

$$L = \frac{\lambda}{4} = \frac{0,698 \text{ m}}{4} = 0,174 \text{ m} = 17,4 \text{ cm} \quad (2)$$

Por lo tanto, se utiliza una antena de aproximadamente 17cm de longitud para ambos nodos AVR, para tener un enlace adecuado.

3.4. Diseño y levantamiento del mapa de comunicaciones

Para un mejor entendimiento el diseño y levantamiento del mapa de comunicaciones se ha subdividido en dos etapas: Diseño y levantamiento del mapa de comunicaciones en la estación de bombeo y diseño y levantamiento del mapa de comunicaciones en el tanque de almacenamiento. Tanto la estación como el tanque tendrán comunicación inalámbrica bidireccional en tiempo real.

3.4.1. Diseño y levantamiento del mapa de comunicaciones en la estación de bombeo

Todos los equipos existentes tienen diferentes protocolos de comunicación los cuales son mencionados a continuación:

- Protocolo MODBUS RTU
- Protocolo tradicional de 4 a 20mA
- Protocolo Bradley Ethernet CIP y
- Protocolo de comunicación inalámbrica LORA

En la figura 108 se muestra el mapa de comunicaciones de la estación de bombeo.

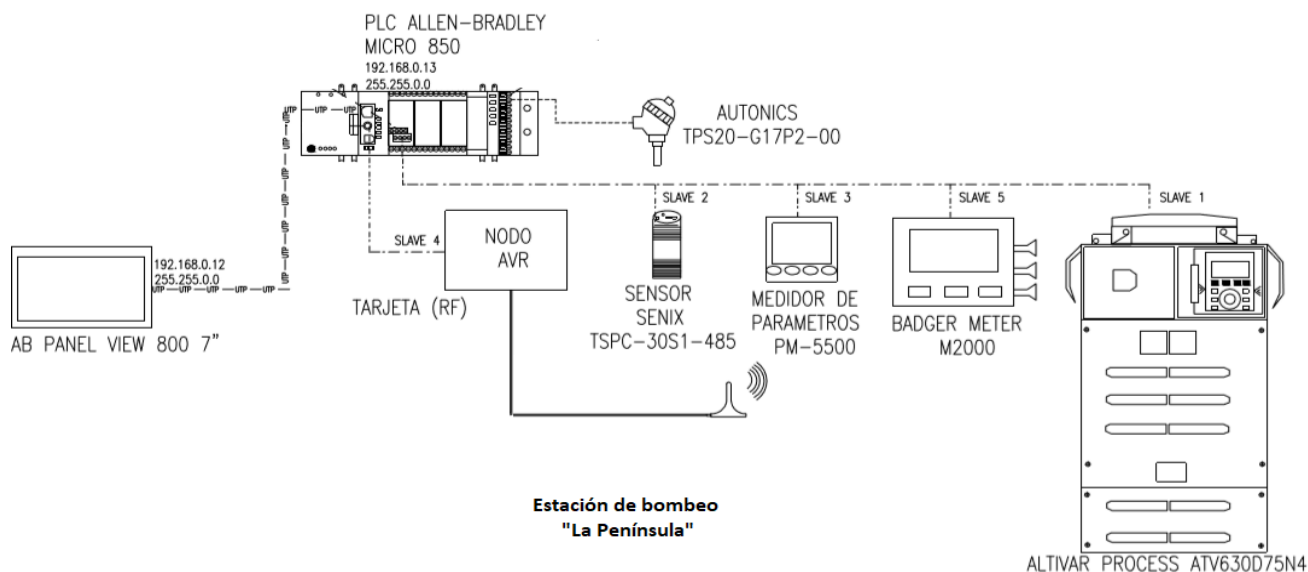


Figura 108. Mapa de comunicaciones de la estación de bombeo.

A continuación, se enumera los componentes que integran la red MODBUS RTU

- Variador Altivar Process ATV630.
- Sensor Senix TSPC-30S1-485.
- Medidor de parámetros PM 5500.
- Badger Meter M2000.
- Nodo AVR.

La red MODBUS RTU tiene un dispositivo maestro que gestiona el envío y la recepción de los mensajes hacia el resto de dispositivos (esclavos), en este caso el dispositivo maestro es el PLC Allen-Bradley Micro 850. Para la configuración del PLC en modo maestro se requiere el uso de dos softwares obtenidos desde la página oficial de ROCKWELL AUTOMATION: RSLinx Classic y Connected Components Workbench.

RSLinx Classic permite la creación del canal de comunicación entre el PLC y la PC, cuando es correctamente instalado se carga el driver de comunicación y reconoce automáticamente al

controlador. Una vez instalado el software se abre el RSLinx y se ejecuta el RSWho haciendo clic en el icono que se muestra resaltado en la figura 109.

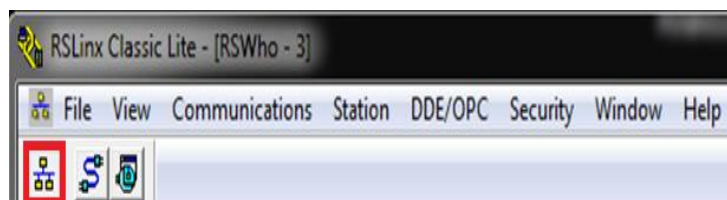


Figura 109. Selección del RSWho

Se selecciona el controlador Micro 850, que es identificado automáticamente como se muestra en la figura 110.

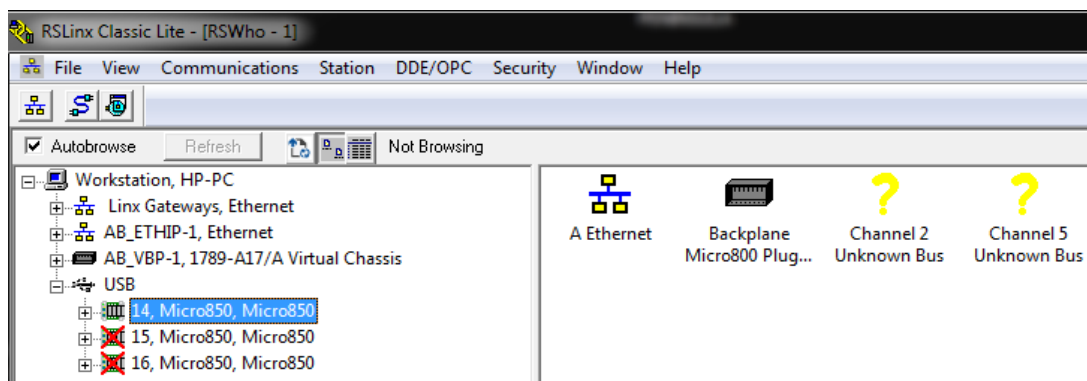


Figura 110. Reconocimiento del controlador.

Para observar las características necesarias del controlador se pulsa el botón derecho del mouse sobre este se escoge la opción **Module Configuration** como se ve en la figura 111.

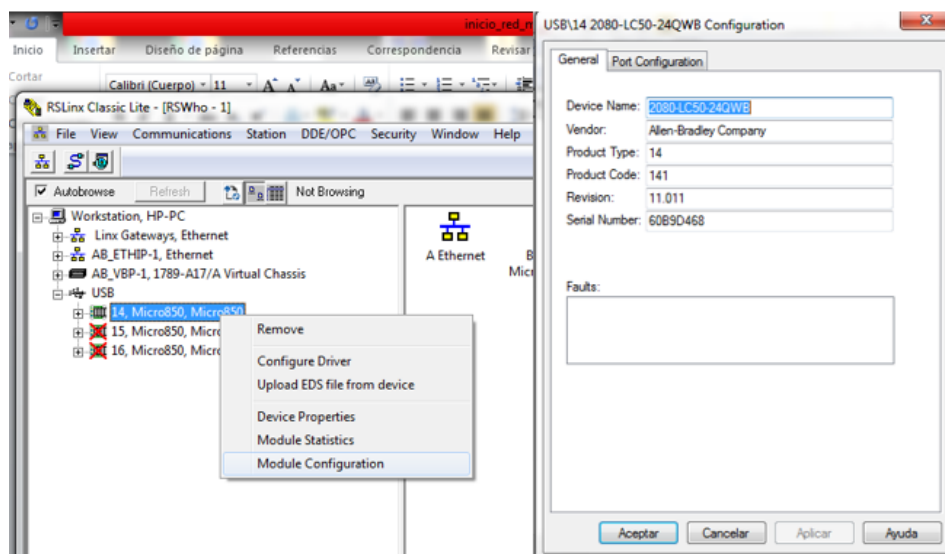


Figura 111. Reconocimiento de las características generales del controlador.

Una vez creado el canal de comunicación abrimos el software Connected Components Workbench para configurar el PLC como se ve en la figura 112. Para la creación de un nuevo proyecto se sigue los siguientes pasos:

- 1.- Abrir el CCW y seleccionar nuevo e ingresar nombre y ubicación y pulsar el botón crear
- 2.- Seguidamente aparece una nueva pantalla en la cual se escoge el controlador de interés.
- 3.- Abrir la carpeta **Controladores**, luego abrir la carpeta correspondiente a la serie del controlador en este caso **Micro850** y seleccionar la serie del PLC: 2080-LC50-24QWB.
4. A continuación seleccionar la versión del driver del PLC la misma que se observa en las características del controlador identificado automáticamente en el software RSLinx.
- 5.- Para concluir con la creación del nuevo proyecto se agrega el controlador seleccionado en el botón **Agregar al Proyecto**, como se puede ver en la figura 112.

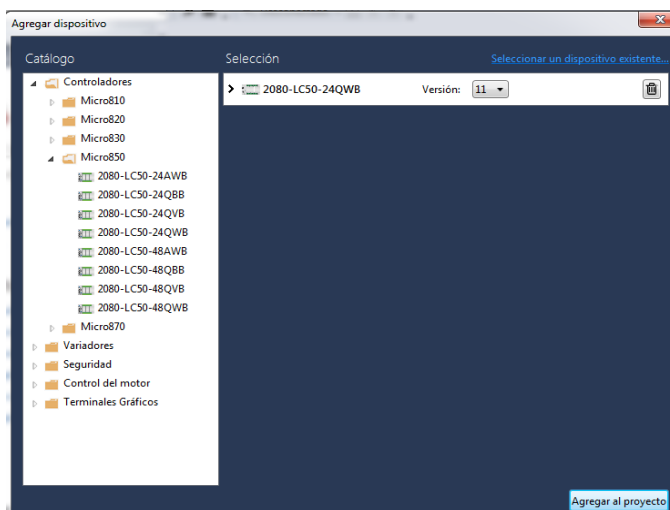


Figura 112. Creación del nuevo proyecto.

Creado el proyecto se debe agregar el módulo enchufable de comunicaciones 2080-SERIALISOL y el módulo enchufable de entradas analógicas 2085-IF4. En la figura 113 se muestra la integración de los módulos enchufables.

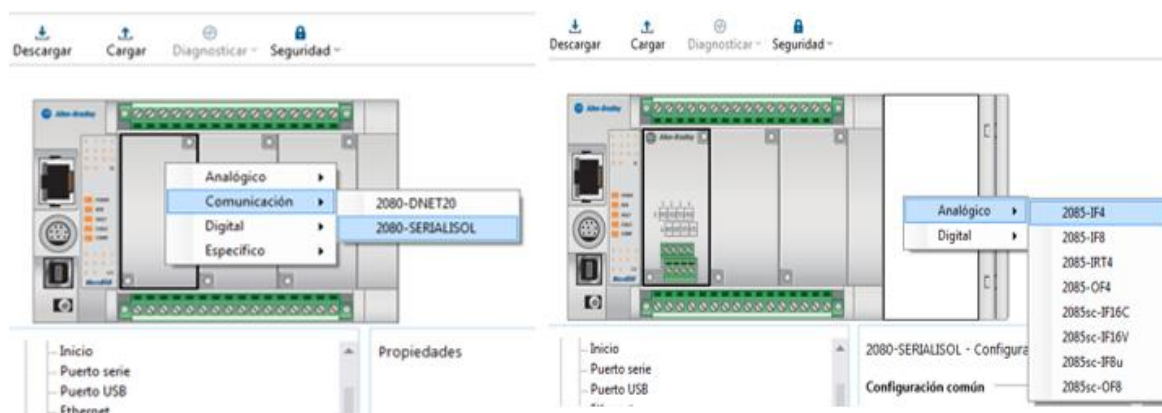


Figura 113. Integración de los módulos enchufables al PLC.

Una vez terminado la incorporación de los módulos al PLC se configura los parámetros del módulo enchufable de comunicación (canal cinco). En la tabla 20 se muestra la configuración de los parámetros de comunicación del maestro PLC.

Tabla 20.
Configuración de los parámetros de comunicación del puerto cinco.

Configuración común	
Controladora	MOBBUS RTU
Velocidad en Baudios	9600
Paridad	Ninguno
Función de Modbus	Maestro
Control de Protocolo	
Medios	RS-485
Bits de datos	8
Bits de parada	1
Temporizador de respuesta	500ms
Pausa de broadcast	200ms
Marco intermedio	0us

Se reserva el puerto serial integrado del PLC (figura 114), donde se establece exclusivamente la comunicación MODBUS RTU entre el PLC y el nodo AVR. En la tabla 21 se muestra la configuración de los parámetros de comunicación del canal dos.



Figura 114. Configuración puerto serial integrado del PLC

Tabla 21.

Configuración de los parámetros de comunicación del puerto dos.

Configuración común	
Controladora	MOBBUS RTU
Velocidad en Baudios	9600
Paridad	Ninguno
Función de Modbus	Maestro
Control de Protocolo	
Medios	RS-485
Bits de datos	8
Bits de parada	1
Temporizador de respuesta	1500ms

CONTINÚA 

Pausa de broadcast	200ms
Marco intermedio	0us

Para el envío de un mensaje Modbus a través de un puerto serie, el software CCW emplea el bloque de mensaje MSG_MODBUS como se muestra en la figura 115.

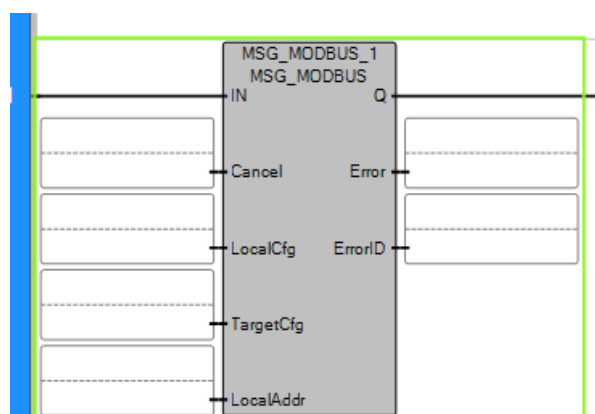


Figura 115. Bloque de mensaje MSG_MODBUS.

En la tabla 22 se describe los de parámetros de la instrucción de comunicación del bloque MSG_MODBUS.

Tabla 22.

Parámetros de la instrucción de comunicación del bloque MSG_MODBUS.

Parámetro	Descripción
In	Entrada de tipo booleana, inicializa el bloque de instrucción solo cuando ha detectado un flanco ascendente y la instrucción previamente finalizado.
Cancel	Entrada de tipo booleana, cancela la ejecución del bloque de función. Está en falso cuando el parámetro In es verdadero.

CONTINÚA 

LocalCfg	Entrada de tipo MODBUSLOCPARA, mediante el uso del dato MODBUSLOCPARA define la estructura de entrada para el dispositivo local.
TargetCfg	Entrada de tipo MODBUSTARPARA, mediante el uso del dato MODBUSLOCPARA define la estructura de entrada para el dispositivo de destino.
LocalAddr	Entrada de tipo MODBUSLOCADDR, es una matriz de 125 palabras, MODBUSLOCADDR, empleando los comandos Read y Write para guardar en el búfer cada uno de ellos de 1-125 palabras.
Q	Salida de tipo booleana, asíncrona en relación a la exploración del programa, se pone en verdadero solo cuando ha finalizado la función del mensaje Modbus (MSG).
Error	Salida de tipo booleana, verdadera solo cuando se ha producido algún error en el bloque.
ErrorID	Salida de tipo UINT, de valor entero único dependiendo el tipo de error que se produzca.

En la tabla 23 se describe los parámetros para el tipo de datos MODBUSLOCPARA.

Tabla 23.
Parámetros para el tipo de datos MODBUSLOCPARA.

Parámetro	Descripción
Canal	Tipo de dato UINT, corresponde al número de puerto seleccionado para la comunicación, 2 si es el puerto integrado o 5-9 si es un módulo enchufable de la ranura 1-5 correspondiente.

CONTINÚA



TriggerType	Tipo de dato USINT, puede ser 0 o 1, 0 cuando el mensaje se ejecuta una sola vez, 1 si se va estar ejecutando simultáneamente.
Cmd	Tipo de dato USINT, Corresponde a la función que va realizar el bloque modbus, esta puede ser: 1,2 ,3 ,4 ,5 ,6 ,15 ,16. De acuerdo a las especificaciones del protocolo MODBUS RTU.
ElementCnt	Tipo de dato UINT, corresponde al número de elemento a leer o escribir.

En la tabla 24 se determina los valores de los parámetros para el tipo de datos MODBUSTARPARA.

Tabla 24.
Parámetros para el tipo de datos MODBUSTARPARA.

Parámetro	Descripción
Addr	Tipo de dato UDINT, contiene la dirección del dato de destino que puede ser de 1-65535.
Nodo	Tipo de dato USINT, corresponde a la dirección del esclavo con que se va a comunicar puede ser de 1-247.

a) **Conexión y configuración del Powerlogic PM5500**

El medidor de parámetros permite establecer comunicaciones serie a través de su puerto integrado RS-485 sus terminales se muestran en la tabla 25.

Tabla 25.
Terminales puerto RS-485 del Powerlogic PM5500.

C	Común. Proporciona la referencia de voltaje (cero voltios) para las señales de datos más + y datos menos -.
-	D (-). Este transmite / recibe las señales de datos de inversión.
+	D (+). Este transmite / recibe la señal de datos no inversora.

Tras haber cableado el puerto RS-485 con el cable de comunicación hacia el PLC como se muestra en la figura 116 y encendido el Powelogic, se configura el puerto de comunicaciones serie con el objeto de establecer comunicación con el PLC.

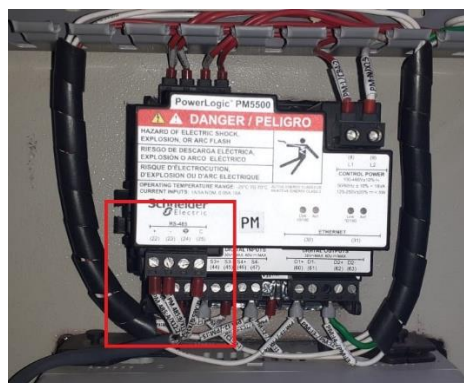


Figura 116. Cableado de la comunicación hacia el PLC.

- **Configuración del puerto RS-485 mediante la pantalla**

El equipo tiene la configuración de comunicaciones de serie de fábrica. La central de medida está pre configurada con los siguientes parámetros de comunicaciones serie: Protocolo = Modbus RTU, Dirección = 1, Velocidad en baudios = 19.200, Paridad = par.

La pantalla de configuración serie (figura 147) permite configurar el puerto de comunicaciones RS-485 siguiendo los siguientes pasos:

1. Ir a Mant. > Config.
2. Escriba la contraseña de configuración (la contraseña predeterminada es "0") y, a continuación, pulse OK.
3. Ir a Com. > Serie.
4. Desplazar el selector de modo que quede señalado el parámetro que desea modificar y, a continuación, pulse Editar.
5. Modificar el parámetro según convenga y, a continuación, pulsar OK.
6. Desplazar el selector de modo que quede señalado el siguiente parámetro que desea modificar, pulsar Editar, realizar cambios y, a continuación, pulsar OK.
7. Pulsar la flecha arriba para salir. Pulsar Sí para guardar los cambios, como se ve en la figura 117.

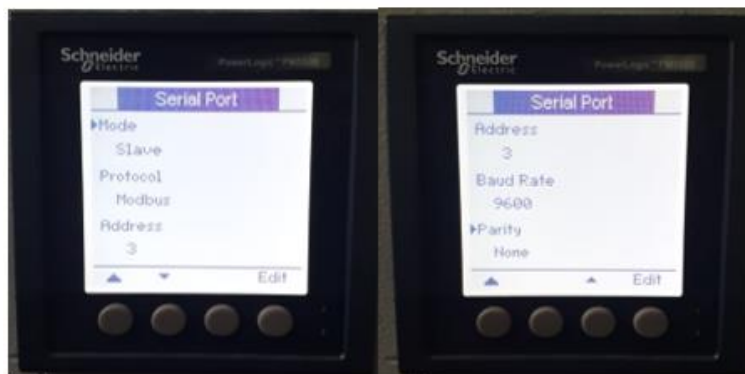


Figura 117. Configuración del puerto de comunicaciones RS-485 del PM

- **Enlace del Powerlogic PM5500 con el PLC AB MICRO 850 2080-LC50-24QWB**

Antes de realizar el enlace se debe conocer el mapa de comunicaciones del equipo. Para la aplicación en el proyecto los valores que se manejan se muestran en la tabla 26.

Tabla 26.
Mapa de comunicaciones del Powerlogic PM5500.

Descripción	Registro	Unidad	Tamaño (INT 16)	Tipo de Dato	Acceso
Corriente A	3000	A	2	FLOAT 32	Lectura (función 3)
Corriente B	3002	A	2	FLOAT 32	Lectura (función 3)
Corriente C	3004	A	2	FLOAT 32	Lectura (función 3)
Corriente N	3006	A	2	FLOAT 32	Lectura (función 3)
Voltaje A-B	3020	V	2	FLOAT 32	Lectura (función 3)
Voltaje B-C	3022	V	2	FLOAT 32	Lectura (función 3)
Voltaje C-A	3024	V	2	FLOAT 32	Lectura (función 3)
Voltaje A-N	3028	V	2	FLOAT 32	Lectura (función 3)
Voltaje B-N	3030	V	2	FLOAT 32	Lectura (función 3)
Voltaje C-N	3032	V	2	FLOAT 32	Lectura (función 3)

Para la conexión del equipo al PLC se lo realiza a través del módulo enchufable 2080-SERIALISOL configurado anteriormente. Para la comunicación se hace uso del bloque MSG_MODBUS el cual está activado por el pulso P7 del tren de pulsos de la red como se muestra en la figura 118.

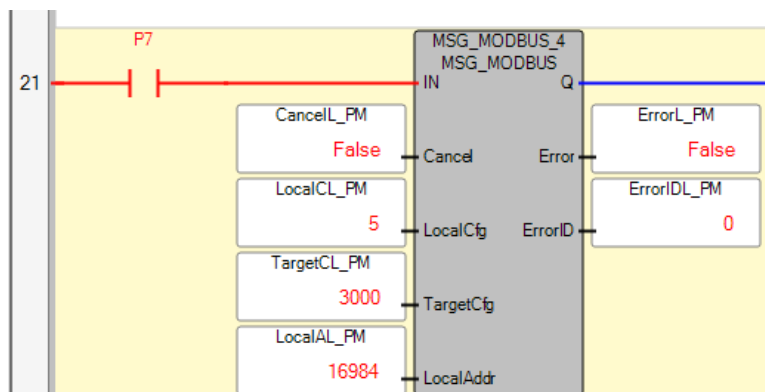


Figura 118. Bloque MSG_MODBUS lectura Powerlogic PM5500.

En la siguiente tabla 27 se identifican las variables y los valores que se utilizan para configurar la instrucción MSG_MODBUS de lectura de modo que lea datos del medidor de parámetros.

Tabla 27.

Valores de las variables del bloque de lectura del Powerlogic PM5500.

Variable	Valor	Descripción
Channel	5	Canal 5: ubicación del módulo SERIALISOL
TriggerType	0	Activador en transición Falso – Cierto
Cmd	3	Código de función de Modbus “03”: Lectura de Holding Registers
ElementCnt	35	Longitud
Addr	3000	Dirección de palabra de estado lógico del PM5500
Node	3	Dirección del nodo

Los datos recibidos del medidor de parámetros se almacenan en la matriz de lectura LocalAddr de registros de 125 palabras. En la tabla 28 se muestra la matriz de lectura LocalAddr.

Tabla 28.
Matriz de lectura LocalAL_PM.

Monitorización de variable									
Variables globales de usuario - Micro850		Variables locales - N/A		Variables del sistema - Micro850		E/S - Micro850		Palabras definidas	
Nombre	Alias	Valor lógico	Valor físico	Valor inicial	Bloques	Tipo de datos	Dimensión		
LocalAL_PM		■	MODBUSLOCA			
LocalAL_PM[1]		16386	N/A		■	WORD			
LocalAL_PM[2]		825	N/A		■	WORD			
LocalAL_PM[3]		16385	N/A		■	WORD			
LocalAL_PM[4]		43312	N/A		■	WORD			
LocalAL_PM[5]		16387	N/A		■	WORD			
LocalAL_PM[6]		11571	N/A		■	WORD			
LocalAL_PM[7]		16152	N/A		■	WORD			
LocalAL_PM[8]		46273	N/A		■	WORD			
LocalAL_PM[9]		65472	N/A		■	WORD			
LocalAL_PM[10]		0	N/A		■	WORD			
LocalAL_PM[11]		16386	N/A		■	WORD			
LocalAL_PM[12]		18569	N/A		■	WORD			
LocalAL_PM[13]		15861	N/A		■	WORD			
LocalAL_PM[14]		49807	N/A		■	WORD			
LocalAL_PM[15]		16020	N/A		■	WORD			
LocalAL_PM[16]		31457	N/A		■	WORD			
LocalAL_PM[17]		16081	N/A		■	WORD			
LocalAL_PM[18]		60293	N/A		■	WORD			
LocalAL_PM[19]		16081	N/A		■	WORD			
LocalAL_PM[20]		60293	N/A		■	WORD			
LocalAL_PM[21]		17378	N/A		■	WORD			
LocalAL_PM[22]		404	N/A		■	WORD			
LocalAL_PM[23]		17379	N/A		■	WORD			
LocalAL_PM[24]		12122	N/A		■	WORD			
LocalAL_PM[25]		17379	N/A		■	WORD			
LocalAL_PM[26]		25556	N/A		■	WORD			

Debido a que los datos del PM5500 son de tipo float 32 la variable ocupa dos registros uno para el valor entero y otro para el valor decimal. El dato real se lo extrae utilizando el bloque especial Words_into_real como se muestra en la figura 119.

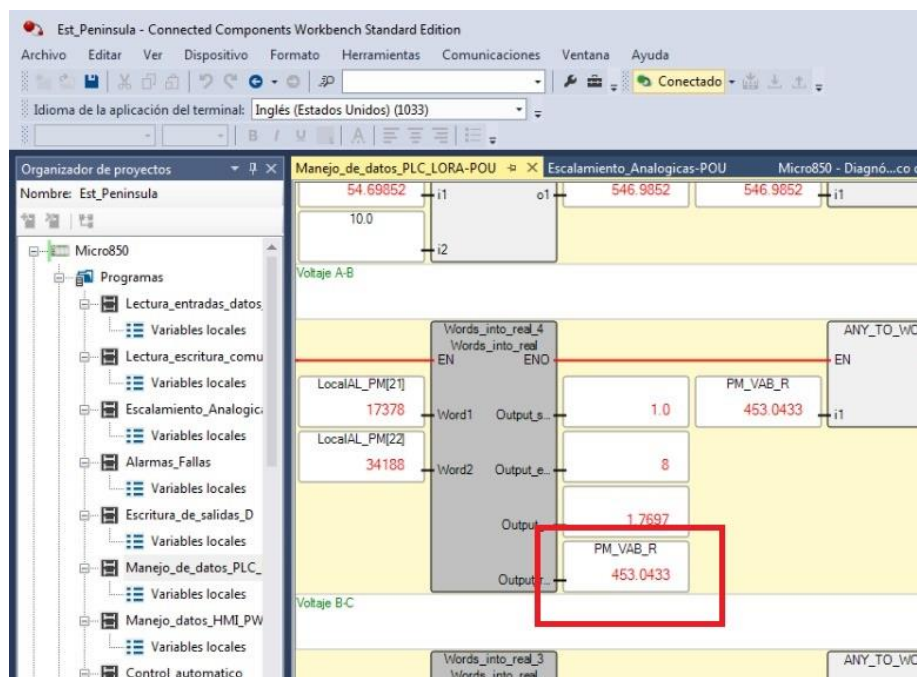


Figura 119. Bloque especial Words_into_real.

b) Conexión y configuración del Badger Meter M2000

El Badger Meter M200 tiene una tarjeta hija de comunicación MODBUS RTU que expande y facilita la comunicación por RS485 usando el protocolo MODBUS RTU. Los terminales de la tarjeta hija usados la comunicación MODBUS RTU se muestran en la tabla 29.

Tabla 29.
Terminales tarjeta hija Badger Meter M2000.

N° de clavija	Nombre de clavija	Descripción
32	COM	Conexión a tierra común
36	RS485 (-)	Invierte la señal para el RS485
37	RS485 (+)	No invierte la señal para el RS485

Tras haber cableado la tarjeta hija con el cable de comunicación al PLC como se muestra en la figura 120, se debe configurar el puerto B MODBUS RTU con objeto de poder establecer comunicación con el PLC.



Figura 120. Conexión del cableado de comunicación del Badger Meter M2000.

- **Configuración del puerto B MODBUS RTU**

La tarjeta hija de comunicación MODBUS RTU es un dispositivo esclavo que se comunica por el Puerto B. Las siguientes configuraciones del Puerto B se establece desde el menú de la pantalla del medidor.

Para cambiar la configuración del Puerto B (figura 121) se sigue los siguientes pasos:

1. Encender el medidor.
2. Navegar hasta Menú principal >Comunicaciones > Ajustes puerto B.
3. Verificar que las configuraciones sean las adecuadas de la red. De lo contrario, cambiar las configuraciones según sea necesario.



Figura 121. Configuración del puerto B del Badger Meter M2000.

- **Enlace del Badger Meter M2000 con el PLC AB MICRO 850 2080-LC50-24QWB**

Antes de realizar el enlace se debe conocer el mapa de comunicaciones del Badger Meter M2000. Para la aplicación en el proyecto los valores que se manejan se muestran en la tabla 30.

Tabla 30.

Mapa de comunicaciones del Badger Meter M2000.

Descripción	Registro	Unidad	Tamaño (INT 16)	Tipo de Dato	Acceso
Caudal	0x00ED	m ³ /s	2	FLOAT32	Lectura (función 3)

Para la conexión del Badger Meter M2000 al PLC se lo realiza a través del módulo enchufable 2080-SERIALISOL configurado anteriormente. Para la comunicación se hace uso del bloque MSG_MODBUS el cual está activado por el pulso P11 del tren de pulsos de la red como se muestra en la figura 122.

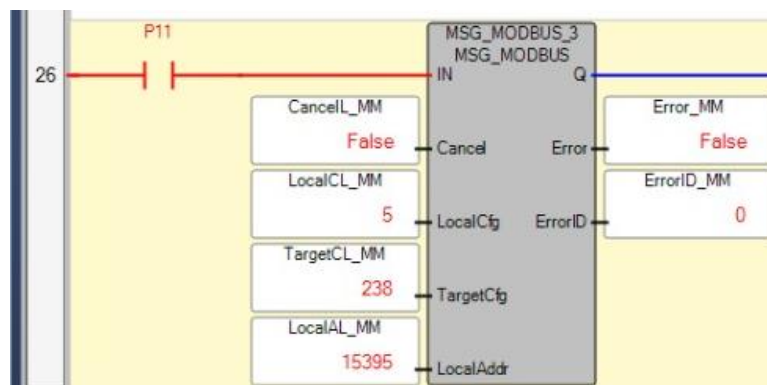


Figura 122. Bloque MSG_MODBUS lectura Badger Meter M2000.

En la tabla 31 se identifican las variables y los valores que se utilizan para configurar la instrucción MSG_MODBUS de lectura de modo que lea datos del Badger Meter M2000.

Tabla 31.

Valores de las variables del bloque de lectura del Badger Meter M2000.

Variable	Valor	Descripción
Channel	5	Canal 5: ubicación del módulo SERIALISOL
TriggerType	0	Activador en transición Falso – Cierto
Cmd	3	Código de función de Modbus “03”: Lectura de Holding Registers
ElementCnt	2	Longitud
Addr	238	Dirección de palabra de estado lógico del Badger Meter + 1
Node	5	Dirección del nodo

Los datos recibidos del Badger Meter se almacenan en la matriz de lectura LocalAddr de registros de 125 palabras. En la tabla 32 se muestra la matriz de lectura LocalAddr.

Tabla 32.
Matriz de lectura LocalAddr_MM.

Nombre	Alias	Valor lógico	Valor físico	Valor inicial	Bloquear	Tipo de datos
LocalAddr_MM		<input type="checkbox"/>	MODBUSLOCA
LocalAddr_MM[1]		15418	N/A		<input type="checkbox"/>	WORD
LocalAddr_MM[2]		64303	N/A		<input type="checkbox"/>	WORD
LocalAddr_MM[3]		0	N/A		<input type="checkbox"/>	WORD
LocalAddr_MM[4]		0	N/A		<input type="checkbox"/>	WORD

c) Conexión y configuración del sensor TSPC-30S1-485

Los modelos seriales RS-485 usan una interfaz de datos seriales RS-485. Antes de conectarse a una red, a cada sensor se le debe asignar una dirección única y la velocidad en baudios del controlador de red para esto se usa el software SenixVIEW.

d) Configuración sensor TSPC-30S1-485 mediante el software TSPC-30S1-485

Modbus RTU es la interfaz estándar que Senix usa para comunicarse con los sensores TSPC. Es utilizado por el software SenixVIEW para configurar un sensor en Microsoft Windows. Para usar SenixVIEW, la computadora debe tener un adaptador USB a RS485 conectado.

Para cambiar la configuración de los parámetros de comunicación del sensor se realiza los siguientes pasos en el SenixVIEW (figura 123):

- 1.- Una vez abierto el software ir a la pestaña Sensor > Connect.
- 3.-Luego dentro de la pantalla flotante seleccionar Find Sensor.
- 4.-El programa empezará a escanear. Una vez encontrado seleccionar el botón Ok.
- 5.- Posteriormente seleccionar el botón Connect y luego el botón Yes.
- 6.- Ir a pestaña Sensor > Communications.

7.- Configurar velocidad y dirección deseada.

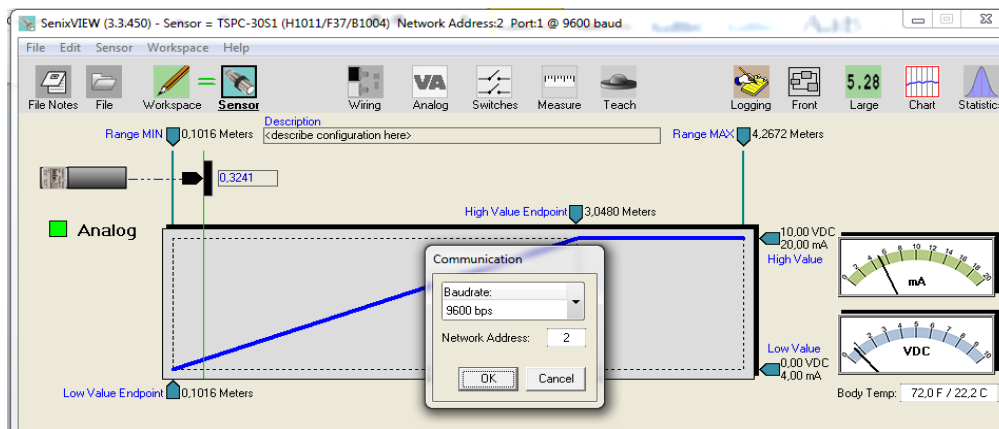


Figura 123. Configuración de los parámetros del sensor en el SenixVIEW.

e) Enlace del sensor TSPC-30S1-485 con el PLC AB MICRO 850.

El mapa de comunicaciones del sensor TSPC-30S1-485 se muestran en la tabla 33. Para la comunicación se hace uso del bloque MSG_MODBUS el cual está activado por el pulso P5 del tren de pulsos de la red como se muestra en la figura 124.

Tabla 33.

Mapa de comunicaciones del sensor TSPC-30S1-485.

Dirección	Campo
0x0208	Distancia

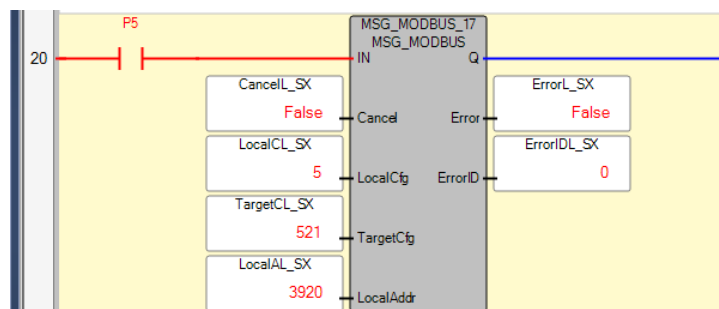


Figura 124. Bloque MSG_MODBUS lectura Senix TSPC-30S1-485.

En la tabla 34 se identifican las variables y los valores que se utilizan para configurar la instrucción MSG_MODBUS de lectura de modo que lea datos del nodo AVR.

Tabla 34.

Valores de las variables del bloque de lectura del Senix TSPC-30S1-485.

Variable	Valor	Descripción
Channel	5	Canal 5: ubicación del módulo SERIALISOL
TriggerType	0	Activador en transición Falso – Cierto
Cmd	3	Código de función de Modbus “03”: Lectura de Holding Registers
ElementCnt	1	Longitud
Addr	521	Dirección de palabra de estado lógico del sensor + 1
Node	2	Dirección del nodo

Los datos recibidos del sensor se almacenan en la matriz de lectura LocalAddr de registros de 125 palabras. En la tabla 35 se muestra la matriz de lectura LocalAddr.

Tabla 35.
Matriz de lectura LocalAL_SX

Monitorización de variable						
Variables globales de usuario - Micro850						
Variables locales - N/A						
Variables del sistema - Micro850						
E/S - Micro850						
Palabras definidas						
Nombre	Alias	Valor lógico	Valor físico	Valor inicial	Bloquear	Tipo de datos
LocalAL_SX		<input type="checkbox"/>	MODBUSLOCA
LocalAL_SX[1]		3915	N/A		<input type="checkbox"/>	WORD
LocalAL_SX[2]		0	N/A		<input type="checkbox"/>	WORD
LocalAL_SX[3]		0	N/A		<input type="checkbox"/>	WORD
LocalAL_SX[4]		0	N/A		<input type="checkbox"/>	WORD
LocalAL_SX[5]		0	N/A		<input type="checkbox"/>	WORD

El registro de distancia devuelve un recuento entero sin procesar del sensor. Este valor debe convertirse para crear una medición de distancia real. El factor de conversión depende del modelo sensor. En la figura 125 se indica el bloque de conversión. Para convertir el valor de registro sin formato a pulgadas se usa la siguiente fórmula:

$$\text{TSPC30S1 Distancia en pulgadas} = \text{Raw} * 0.003384$$

Donde:

Raw es la variable con el valor puro del sensor.

0.003384 es la constante de transformación a pulgadas del sensor TSPC-30S1-485.

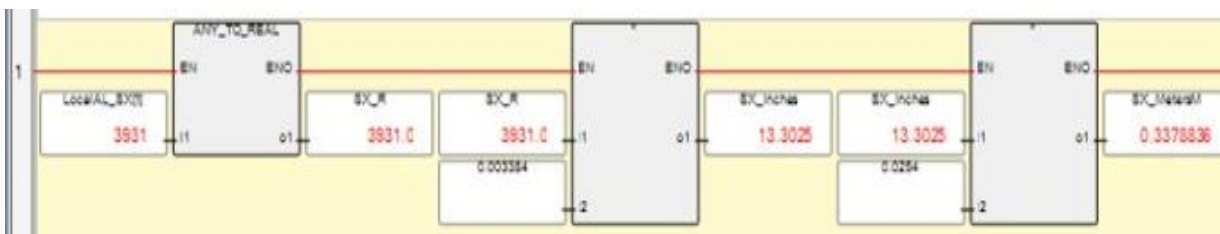


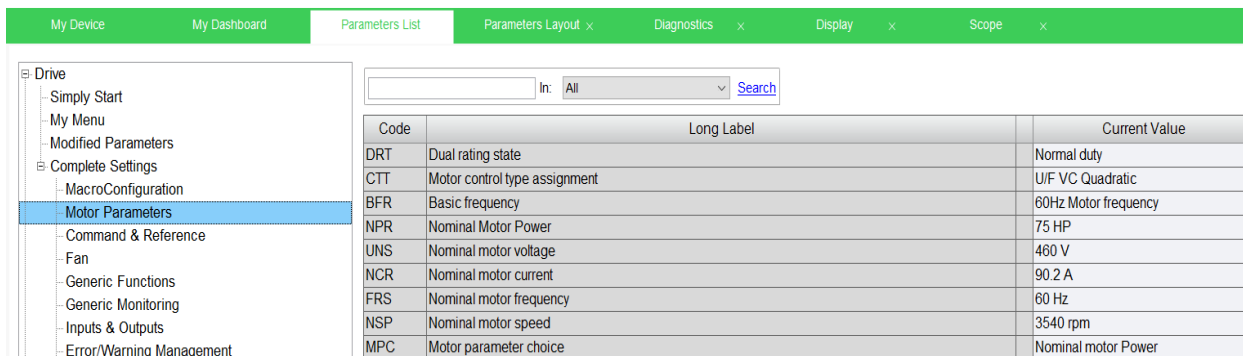
Figura 125. Conversión del registro sin formato.

f) Conexión y configuración del Variador Altivar Process ATV630D75N4

Antes de la puesta en marcha del variador se debe configurar de acuerdo a los parámetros del motor a ser controlado. En la tabla 36 se muestra la configuración de los parámetros principales

de placa del motor US Motors HO75S1SLG ingresados en el variador a través del software SoMove 2.6.

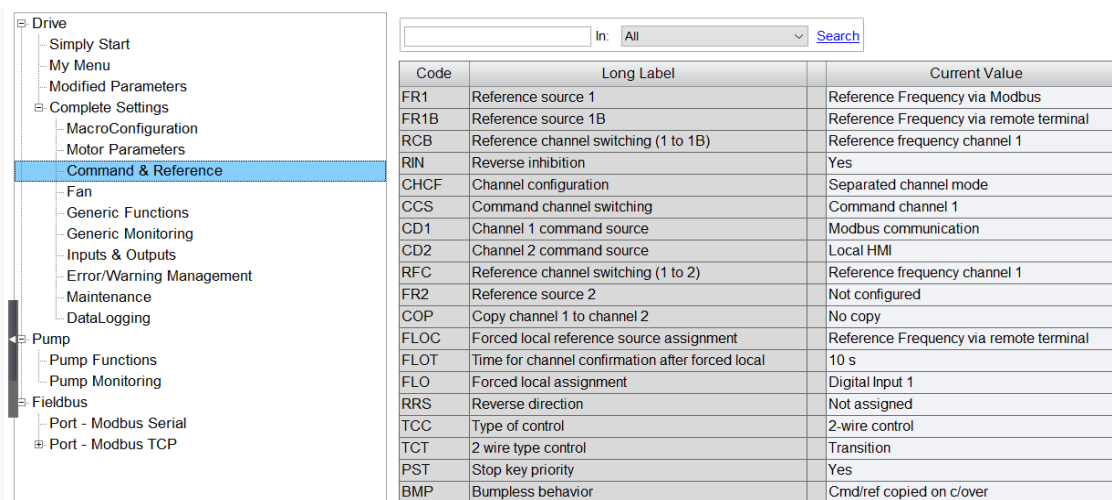
Tabla 36.
Configuración de los parámetros del motor US Motors HO75S1SLG.



Code	Long Label	Current Value
DRT	Dual rating state	Normal duty
CTT	Motor control type assignment	U/F VC Quadratic
BFR	Basic frequency	60Hz Motor frequency
NPR	Nominal Motor Power	75 HP
UNS	Nominal motor voltage	460 V
NCR	Nominal motor current	90.2 A
FRS	Nominal motor frequency	60 Hz
NSP	Nominal motor speed	3540 rpm
MPC	Motor parameter choice	Nominal motor Power

Las órdenes de marcha (marcha adelante, marcha atrás, parada, etc.) y las referencias pueden enviarse a través del canal Modbus integrado. Para la configuración se lo realiza desde el menú: comando y referencia. En la tabla 37 se muestra la configuración del menú comando y referencia ingresados en el variador a través del software SoMove 2.6.

Tabla 37.
Configuración del menú comando y referencia.



Code	Long Label	Current Value
FR1	Reference source 1	Reference Frequency via Modbus
FR1B	Reference source 1B	Reference Frequency via remote terminal
RCB	Reference channel switching (1 to 1B)	Reference frequency channel 1
RIN	Reverse inhibition	Yes
CHCF	Channel configuration	Separated channel mode
CCS	Command channel switching	Command channel 1
CD1	Channel 1 command source	Modbus communication
CD2	Channel 2 command source	Local HMI
RFC	Reference channel switching (1 to 2)	Reference frequency channel 1
FR2	Reference source 2	Not configured
COP	Copy channel 1 to channel 2	No copy
FLOC	Forced local reference source assignment	Reference Frequency via remote terminal
FLOT	Time for channel confirmation after forced local	10 s
FLO	Forced local assignment	Digital Input 1
RRS	Reverse direction	Not assigned
TCC	Type of control	2-wire control
TCT	2 wire type control	Transition
PST	Stop key priority	Yes
BMP	Bumpless behavior	Cmd/ref copied on c/over

De acuerdo al perfil independiente configurado en el variador el comando y la referencia pueden enviarse a través de distintos canales. En la figura 126 se muestra el diagrama lógico de la referencia y en la figura 127 se muestra el diagrama lógico del comando.

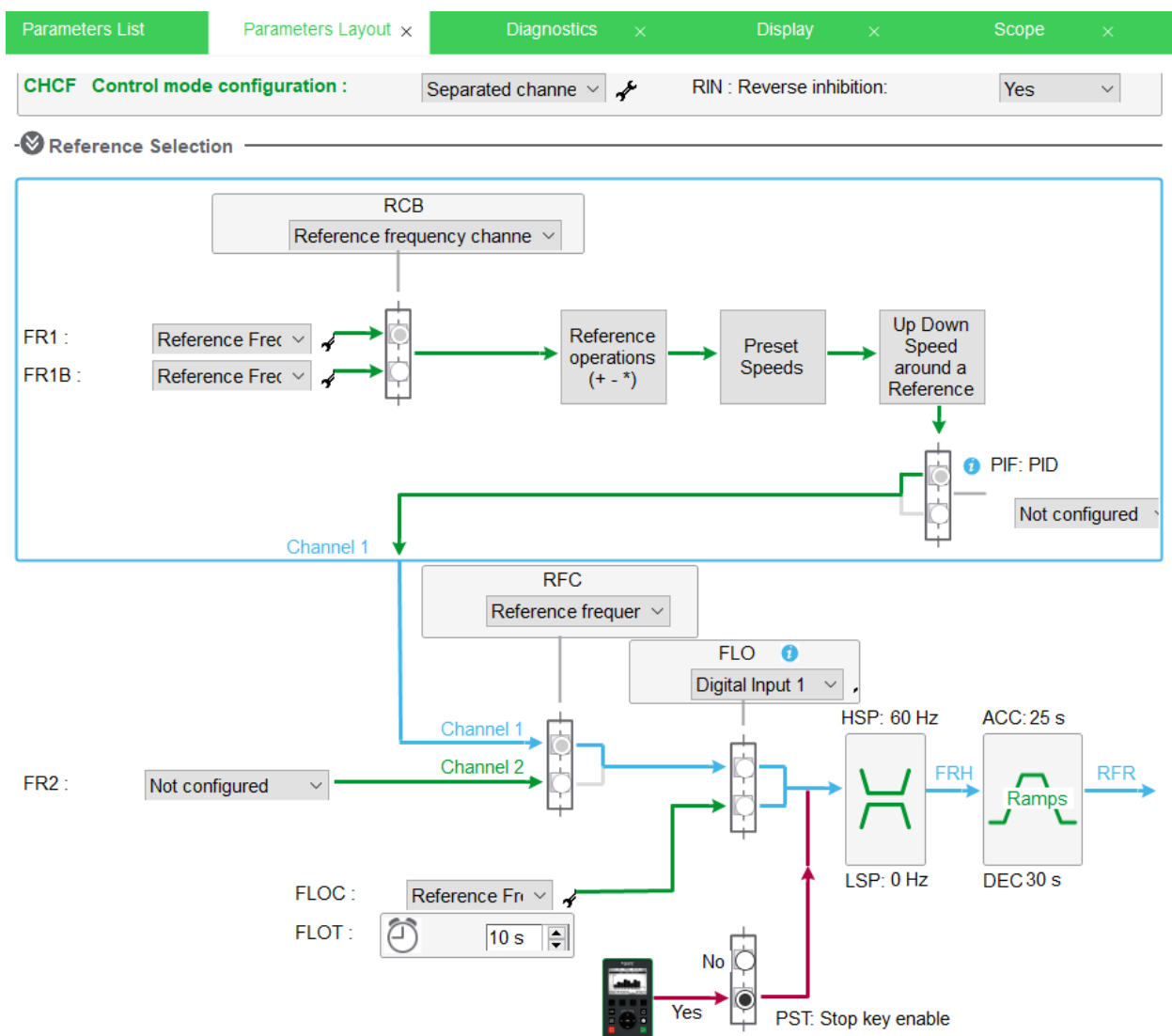


Figura 126. Diagrama lógico de la referencia.

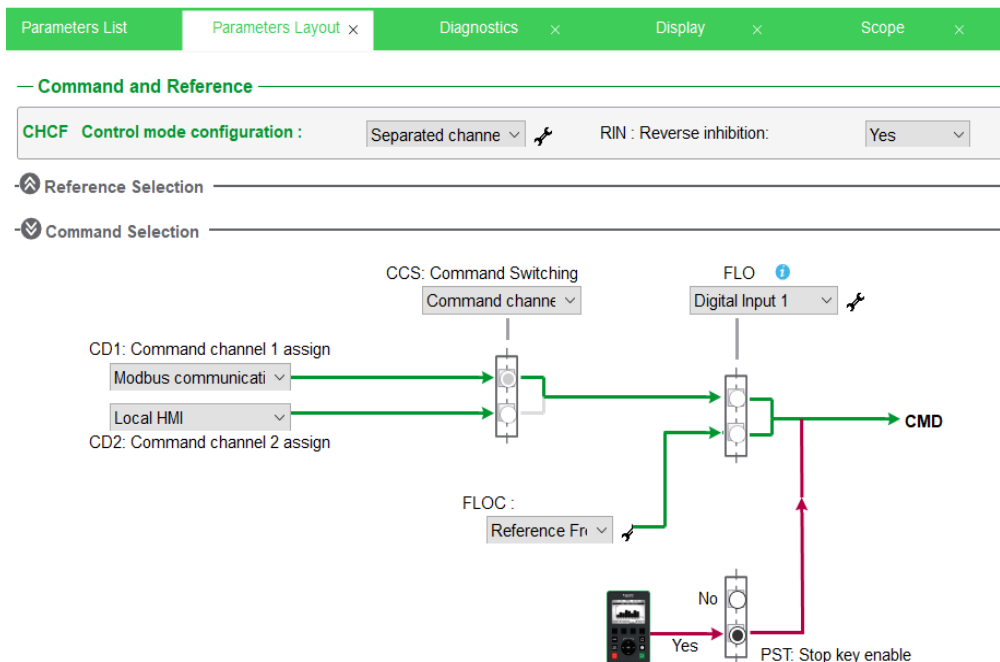


Figura 127. Diagrama lógico del comando.

La figura 128 muestra el diagrama de control para la operación del variador

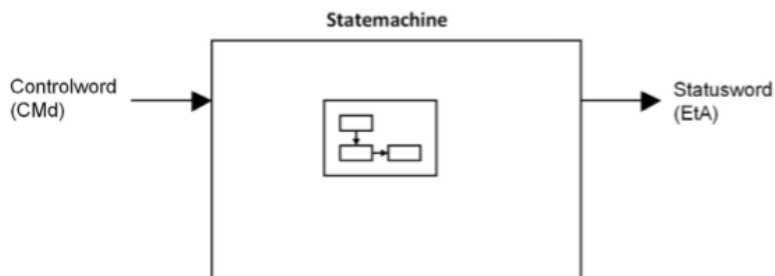


Figura 128. Diagrama de control para la operación del variador.

El mapeo de bits de la Control Word se muestra en la tabla 38 y el mapeo de bits de la Status Word se muestra en la tabla 39.

Tabla 38.
Mapeo de bits de la Control Word.

Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0
Fault reset	Reserved (=0)	Reserved (=0)	Reserved (=0)	Enable operation	Quick stop	Enable voltage	Switch on
0 to 1 transition = Error is reset (after cause of error is no longer active)				1 = Run command	0 = Quick stop active	Authorization to supply AC power	Mains contactor control

Bit 15	Bit 14	Bit 13	Bit 12	Bit 11	Bit 10	Bit 9	Bit 8
Manufacturer specific assignable	Manufacturer specific assignable	Manufacturer specific assignable	Manufacturer specific assignable	Manufacturer specific	Reserved (=0)	Reserved (=0)	Halt
				0 = Forward direction asked 1 = Reverse direction asked			Halt

Tabla 39.
Mapeo de bits de la Status Word.

Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0
Warning	Switch on disabled	Quick stop	Voltage enabled	Detected error	Operation enabled	Switched on	Ready to switch on
A warning is active	Power stage supply disabled	0 = Quick stop is active	Power stage supply present	Detected error	Running	Ready	1 = Awaiting power Stage supply

Bit 15	Bit 14	Bit 13	Bit 12	Bit 11	Bit 10	Bit 9	Bit 8
Manufacturer-specific Direction of rotation	Manufacturer-specific Stop via STOP key	Reserved (=0)	Reserved (=0)	Internal limit active	Target reached	Remote	Reserved (=0)
				Reference value outside limits	Reference value reached	Command or reference value via fieldbus	

En la figura 129 muestra el diagrama simplificado para el control de velocidad del variador.

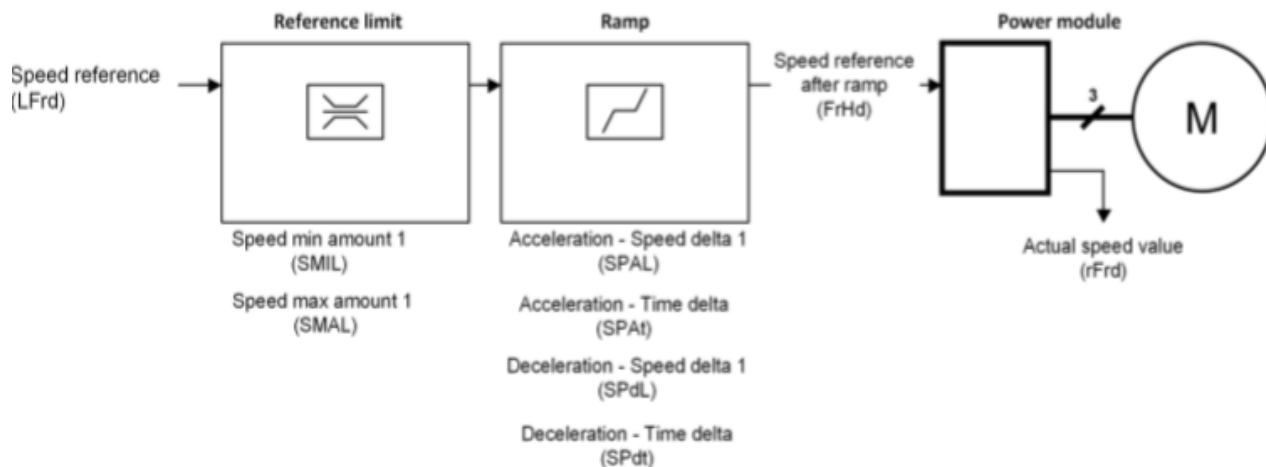


Figura 129. Diagrama simplificado para el control de velocidad del variador.

Después de encender se inicia el variador y pasa por una serie de estados. El diagrama de estado (máquina de estado) muestra las relaciones entre los estados operativos y los estados transitorios. Los estados operativos son monitoreados internamente e influenciados por las funciones de monitoreo. La figura 130 muestra el diagrama de estados:

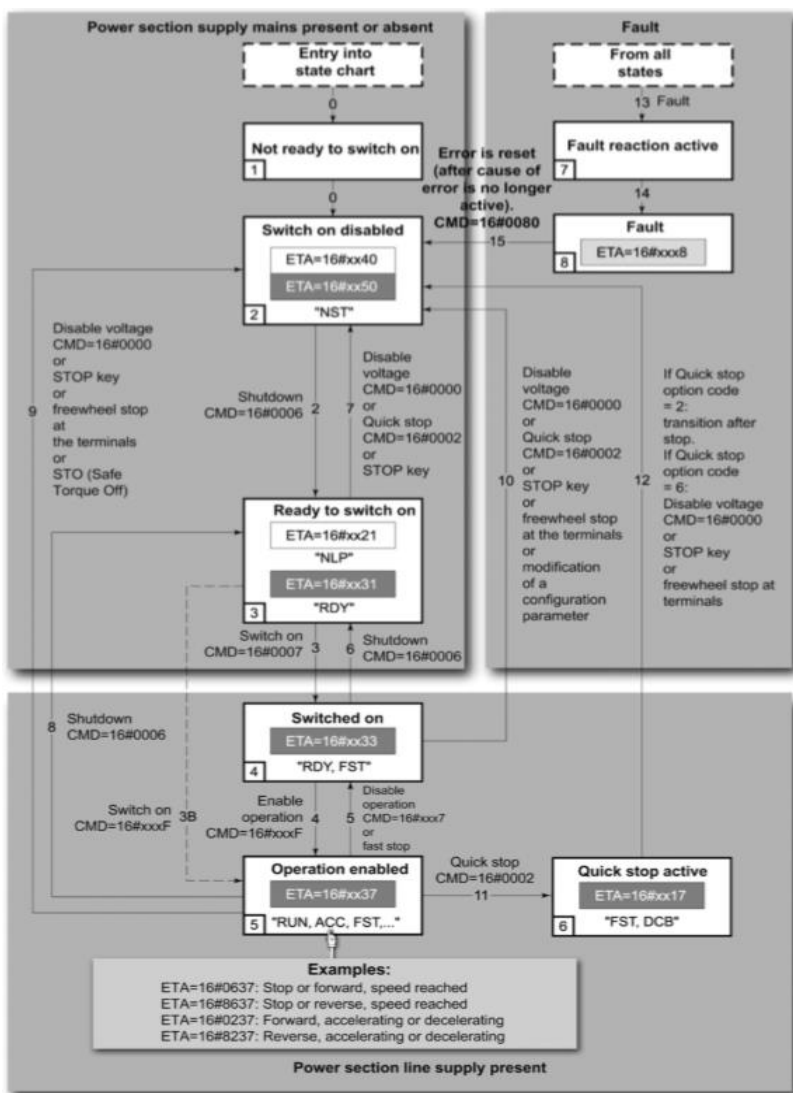


Figura 130. Diagrama de estados del variador.

El variador permite establecer comunicaciones serie a través de su puerto integrado RS-485. La figura 131 muestra el diseño de los pines para el conector RJ45.

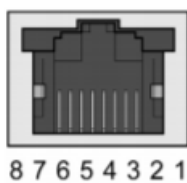


Figura 131. Pines del conector RJ45 del variador.

La tabla 40 describe el pin del conector RJ45 de la unidad.

Tabla 40.
Distribución de pines del conector RJ45 del variador.

Pin	Señal
1	Reservado
2	Reservado
3	Reservado
4	D1
5	D0
6	-
7	VP, 10 Vdc
8	Común

Utilizando el cable de comunicación hacia el PLC como se muestra en la figura 132, se configura los parámetros de comunicación de variador.



Figura 132. Cableado del puerto de comunicación del variador.

g) Configuración de los parámetros de comunicación del variador a través del SoMove 2.6

En la tabla 41 se muestra la configuración de los parámetros de comunicación MODBUS RTU del variador de frecuencia a través del software SoMove 2.6.

Tabla 41.
Parámetros de comunicación MODBUS RTU del variador.

Code	Long Label	Current Value	Default Value	Min Value	Max Value	Logical address
ADD	Terminal modbus : Drive address	1	↕ Off	0	247	6001
AMOC	Modbus adress of COM option board	Off	Off	0	247	6651
TBR	Terminal modbus : Baud-rate	9600 bps	↕ 19200 bps			6003
TWO	Terminal modbus : Word order	Modbus Word Order ON	Modbus Word Order ON			6006
TFO	Terminal modbus : Frame format	8bit no parity 1stop bit	↕ 8 bits even parity 1 stop bit			6004

h) Enlace del Variador Altivar con el PLC AB MICRO 850 2080-LC50-24QWB

En la tabla 42 se muestra el mapa de comunicaciones con las variables a ser utilizadas.

Tabla 42.

Mapa de comunicaciones del Variador Altivar Process ATV630D75N4.

Nombre	Dirección lógica	Acceso	Tipo	Unidades
Registro de comando	8501	R/W	WORD	-
Referencia de frecuencia	8502	R/W	WORD	-
Registro de estado	3201	R	WORD	-
Frecuencia motor	3202	R	INT	0.1Hz
Corriente motor	3204	R	INT	1 ^a
Voltaje motor	3208	R	INT	1V
Temperatura motor	9630	R	INT	%

Para la comunicación se hace uso del bloque MSG_MODBUS de lectura_0 el cual está activado por el pulso P1 del tren de pulsos de la red como se muestra en la figura 133.

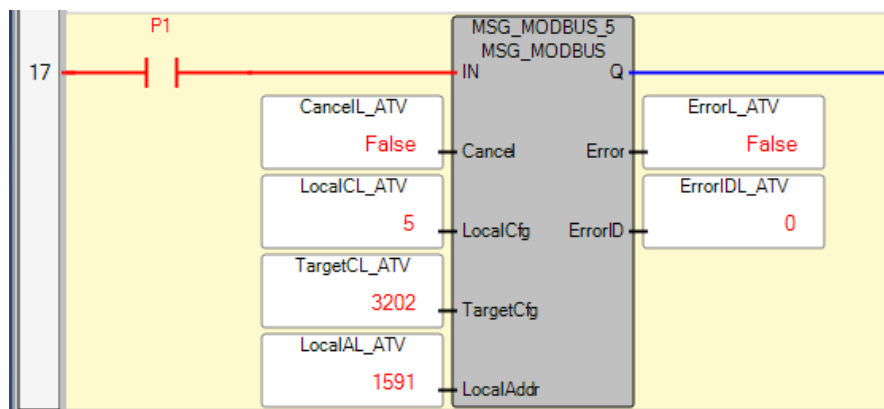


Figura 133. Bloque MSG_MODBUS lectura_0 del variador.

En la tabla 43 se identifican las variables y los valores que se utilizan para configurar la instrucción MSG_MODBUS de lectura_0 de modo que lea datos del variador.

Tabla 43.

Valores de las variables del bloque de lectura_0 del variador.

Variable	Valor	Descripción
Channel	5	Canal 5: ubicación del módulo SERIALISOL
TriggerType	0	Activador en transición Falso – Cierto
Cmd	3	Código de función de Modbus “03”: Lectura de Holding Registers
ElementCnt	8	Longitud
Addr	3202	Dirección de palabra de estado lógico del variador +1
Node	1	Dirección del nodo

Los datos recibidos del variador se almacenan en la matriz de lectura LocalAddr de registros de 125 palabras. En la tabla 44 se muestra la matriz de lectura_0 LocalAL_ATV.

Tabla 44.

Matriz de lectura_0 LocalAL_ATV.

Monitorización de variable							
Variables globales de usuario - Micro850 Variables locales - N/A Variables del sistema - Micro850 E/S - Micro850 Palabras definidas							
Nombre	Alias	Valor lógico	Valor físico	Valor inicial	Bloquear	Tipo de datos	
LocalAL_ATV		<input type="checkbox"/>	MODBUSLOCA	
LocalAL_ATV[1]		1591	N/A		<input type="checkbox"/>	WORD	
LocalAL_ATV[2]		550	N/A		<input type="checkbox"/>	WORD	
LocalAL_ATV[3]		550	N/A		<input type="checkbox"/>	WORD	
LocalAL_ATV[4]		616	N/A		<input type="checkbox"/>	WORD	
LocalAL_ATV[5]		709	N/A		<input type="checkbox"/>	WORD	
LocalAL_ATV[6]		16402	N/A		<input type="checkbox"/>	WORD	
LocalAL_ATV[7]		4526	N/A		<input type="checkbox"/>	WORD	
LocalAL_ATV[8]		399	N/A		<input type="checkbox"/>	WORD	

Para la comunicación se hace uso del bloque MSG_MODBUS de lectura_1 el cual está activado por el pulso P3 del tren de pulsos de la red como se muestra en la figura 134.

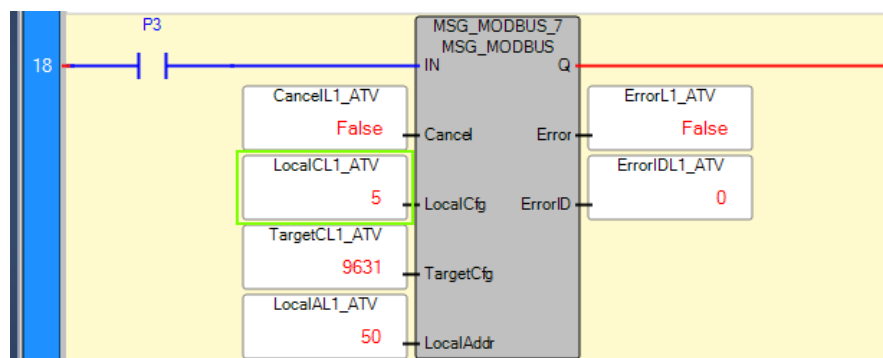


Figura 134. Bloque MSG_MODBUS lectura_1 del variador.

En la tabla 45 se identifican las variables y los valores que se utilizan para configurar la instrucción MSG_MODBUS de lectura_1 de modo que lea datos del variador.

Tabla 45.
Valores de las variables del bloque de lectura_1 del variador.

Variable	Valor	Descripción
Channel	5	Canal 5: ubicación del módulo SERIALISOL
TriggerType	0	Activador en transición Falso – Cierto
Cmd	3	Código de función de Modbus “03”: Lectura de Holding Registers
ElementCnt	1	Longitud
Addr	9631	Dirección de palabra de estado lógico del variador +1
Node	1	Dirección del nodo

Los datos recibidos del variador se almacenan en la matriz de lectura LocalAddr de registros de 125 palabras. En la tabla 46 se muestra la matriz de lectura_1 LocalAddr.

Tabla 46.
Matriz de lectura_1 LocalAddr.

Para la comunicación se hace uso del bloque MSG_MODBUS de escritura que está activado por el pulso P9 del tren de pulsos de la red como se muestra en la figura 135.

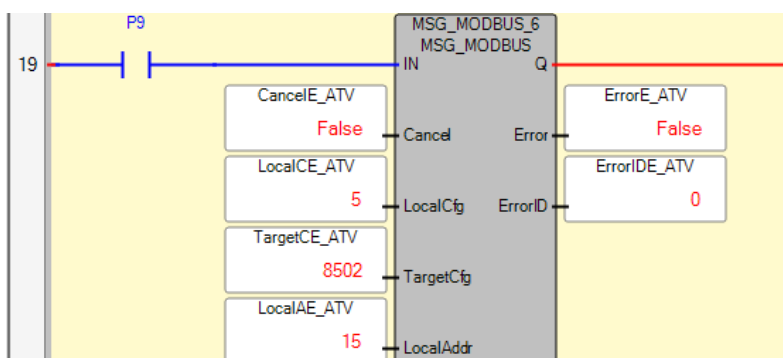


Figura 135. Bloque MSG_MODBUS de escritura del variador.

En la tabla 47 se identifican las variables y los valores que se utilizan para configurar la instrucción MSG_MODBUS de escritura de modo que escriba datos en el variador.

Tabla 47.

Valores de las variables del bloque de escritura del variador.

Variable	Valor	Descripción
Channel	5	Canal 5: ubicación del módulo SERIALISOL
TriggerType	0	Activador en transición Falso – Cierto
Cmd	16	Código de función de Modbus “16”: Escritura de Holding Registers
ElementCnt	2	Longitud
Addr	8502	Dirección de palabra de estado lógico del variador +1
Node	1	Dirección del nodo

Los datos recibidos del variador se almacenan en la matriz de lectura LocalAddr de registros de 125 palabras. En la tabla 48 se muestra la matriz de escritura LocalAddr.

Tabla 48.
Matriz de escritura LocalAE_ATV.

Nombre	Alias	Valor lógico	Valor físico	Valor inicial	Bloquear	Tipo de datos
LocalAE_ATV		<input type="checkbox"/>	MODBUSLOCA
LocalAE_ATV[1]		15	N/A	7	<input type="checkbox"/>	WORD
LocalAE_ATV[2]		550	N/A	0	<input type="checkbox"/>	WORD
LocalAE_ATV[3]		0	N/A		<input type="checkbox"/>	WORD
LocalAE_ATV[4]		0	N/A		<input type="checkbox"/>	WORD

i) Conexión y configuración del nodo AVR

El nodo AVR permite establecer comunicaciones serie a través de su puerto serie integrado RS-485 sus terminales se muestran en la tabla 49.

Tabla 49.
Pines de conexión del terminal MODBUS RTU del nodo AVR.

C	Común. Proporciona la referencia de voltaje (cero voltios) para las señales de datos + y datos menos -
B	D (-). Este transmite / recibe las señales de datos de inversión.
A	D (+). Este transmite / recibe la señal de datos no inversora.

El puerto RS-485 del nodo AVR se conecta al puerto serial incorporado del PLC con cable de comunicación. Los pines de comunicación del puerto serial incorporado se muestra en la figura 136.

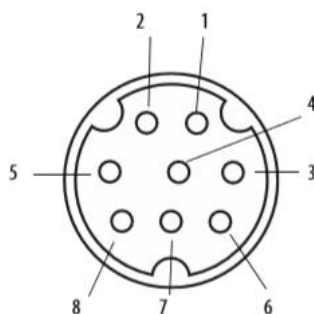


Figura 136. Distribución de los pines del puerto serial integrado del PLC.

En la tabla 50 se muestra la configuración de los pines del puerto serial integrado del PLC.

Tabla 50.

Configuración de los pines del puerto serial integrado del PLC.

Pin	Definición
1	RS-485+
2	GND
3	RS-232 RTS
4	RS-232 RxD
5	RS-232 DCD
6	RS-232 CTS
7	RS-232 TxD
8	RS-484 -

j) Enlace del nodo AVR con el PLC AB MICRO 850 2080-LC50-24QWB

En la programación del nodo AVR se configura su mapa de comunicaciones de registros de tipo Holding Registers. Para la aplicación en el proyecto los valores que se manejan como se muestran en la tabla 51.

Tabla 51.
Mapa de comunicaciones del nodo AVR.

Descripción	Registro	Tipo de Dato	Acceso
PM_Corriente A	400001	INT	Escritura (función 16)
PM_Corriente B	400002	INT	Escritura (función 16)
PM_Corriente C	400003	INT	Escritura (función 16)
PM_Voltaje A-B	400004	INT	Escritura (función 16)
PM_Voltaje B-C	400005	INT	Escritura (función 16)
PM_Voltaje C-A	400006	INT	Escritura (función 16)
VFD_ETA	400007	INT	Escritura (función 16)
VFD_Hz	400008	INT	Escritura (función 16)
VFD_Temp_motor	400009	INT	Escritura (función 16)
Senix_estación_nivel	400010	INT	Escritura (función 16)
Badger Meter_Caudal	400011	INT	Escritura (función 16)
Autonics _presión	400012	INT	Escritura (función 16)
Est_local_remoto	400013	INT	Escritura (función 16)
Est_bombas	400014	INT	Escritura (función 16)
VFD_Vout	400015	INT	Escritura (función 16)

CONTINÚA



VFD_Cout	400016	INT	Escritura (función 16)
Est_LSSL	400017	INT	Escritura (función 16)
Est_Paro	400018	INT	Escritura (función 16)
Senix_estación_COMM	400019	INT	Escritura (función 16)
Badger Meter_COMM	400020	INT	Escritura (función 16)
PM_COMM	400021	INT	Escritura (función 16)
VFD_COMM	400022	INT	Escritura (función 16)
-	400023	INT	Escritura (función 16)
-	400024	INT	Escritura (función 16)
-	400025	INT	Escritura (función 16)
Senix_tanque_nivel	400026	INT	Lectura (función 3)
Set_cmd	400027	INT	Lectura (función 3)
Set_frec	400028	INT	Lectura (función 3)
Set_bombas	400029	INT	Lectura (función 3)
Sensor_tanque_COMM	400030	INT	Lectura (función 3)
-	400031	INT	Lectura (función 3)
Set_point_remoto	400032	INT	Lectura (función 3)
Set_hyster_remoto	400033	INT	Lectura (función 3)
-	400034	INT	Lectura (función 3)
-	400035	INT	Lectura (función 3)

Para la comunicación se hace uso del bloque MSG_MODBUS de lectura el cual está activado por el pulso PA5 del tren de pulsos como se muestra en la figura 137.

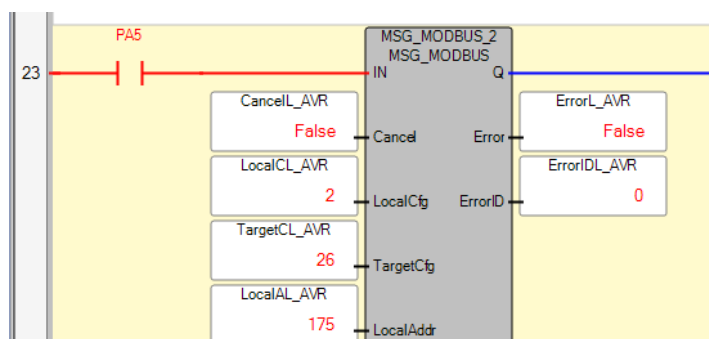


Figura 137. Bloque MSG_MODBUS de lectura del nodo AVR.

En la tabla 52 se identifican las variables y los valores que se utilizan para configurar la instrucción MSG_MODBUS de lectura de modo que lea datos del nodo AVR.

Tabla 52.

Valores de las variables del bloque de lectura del nodo AVR.

Variable	Valor	Descripción
Channel	2	Canal 5: ubicación del módulo SERIALISOL
TriggerType	0	Activador en transición Falso – Cierto
Cmd	3	Código de función de Modbus “03”: Lectura de Holding Registers
ElementCnt	10	Longitud
Addr	26	Dirección de palabra de estado lógico del nodo AVR
Node	4	Dirección del nodo

CONTINÚA 

Los datos recibidos del nodo AVR se almacenan en la matriz de lectura LocalAddr de registros de 125 palabras. En la tabla 53 se muestra la matriz de lectura LocalAddr.

Tabla 53.
Matriz de lectura LocalAL_AVR.

Monitorización de variable									
Variables globales de usuario - Micro850		Variables locales - N/A		Variables del sistema - Micro850		E/S - Micro850		Palabras definidas	
Nombre	Alias	Valor lógico	Valor físico	Valor inicial	Bloquear	Tipo de datos			
LocalAL_AVR		<input type="checkbox"/>	MODBUSLOCA			
LocalAL_AVR[1]		175	N/A		<input type="checkbox"/>	WORD			
LocalAL_AVR[2]		0	N/A		<input type="checkbox"/>	WORD			
LocalAL_AVR[3]		0	N/A		<input type="checkbox"/>	WORD			
LocalAL_AVR[4]		0	N/A		<input type="checkbox"/>	WORD			
LocalAL_AVR[5]		0	N/A		<input type="checkbox"/>	WORD			
LocalAL_AVR[6]		0	N/A		<input type="checkbox"/>	WORD			
LocalAL_AVR[7]		225	N/A		<input type="checkbox"/>	WORD			
LocalAL_AVR[8]		75	N/A		<input type="checkbox"/>	WORD			
LocalAL_AVR[9]		0	N/A		<input type="checkbox"/>	WORD			

Además, se hace uso del bloque MSG_MODBUS de escritura el cual está activado por el pulso PA3 del tren de pulsos como se muestra en la figura 138.

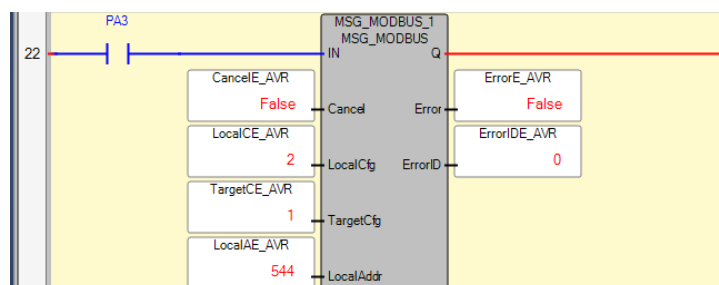


Figura 138. Bloque MSG_MODBUS de escritura del nodo AVR.

En la tabla 54 se identifican las variables y los valores que se utilizan para configurar la instrucción MSG_MODBUS de escritura de modo que lea datos del nodo AVR.

Tabla 54.*Valores de las variables del bloque de escritura del nodo AVR.*

Variable	Valor	Descripción
Channel	2	Canal 5: ubicación del módulo SERIALISOL
TriggerType	0	Activador en transición Falso – Cierto
Cmd	16	Código de función de Modbus “16”: Lectura de Holding Registers
ElementCnt	25	Longitud
Addr	1	Dirección de palabra de estado lógico del nodo AVR
Node	4	Dirección del nodo

Los datos recibidos del nodo AVR se almacenan en la matriz de escritura LocalAddr de registros de 125 palabras. En la tabla 55 se muestra la matriz de escritura LocalAddr.

Tabla 55.
Matriz de escritura LocalAE_AVR.

Nombre	Alias	Valor lógico	Valor físico	Valor inicial	Bloquear	Tipo de datos
LocalAE_AVR			MODBUSLOCAL
LocalAE_AVR[1]		544	N/A		<input type="checkbox"/>	WORD
LocalAE_AVR[2]		543	N/A		<input type="checkbox"/>	WORD
LocalAE_AVR[3]		543	N/A		<input type="checkbox"/>	WORD
LocalAE_AVR[4]		455	N/A		<input type="checkbox"/>	WORD
LocalAE_AVR[5]		452	N/A		<input type="checkbox"/>	WORD
LocalAE_AVR[6]		455	N/A		<input type="checkbox"/>	WORD
LocalAE_AVR[7]		1591	N/A		<input type="checkbox"/>	WORD
LocalAE_AVR[8]		550	N/A		<input type="checkbox"/>	WORD
LocalAE_AVR[9]		48	N/A		<input type="checkbox"/>	WORD
LocalAE_AVR[10]		201	N/A		<input type="checkbox"/>	WORD
LocalAE_AVR[11]		1138	N/A		<input type="checkbox"/>	WORD
LocalAE_AVR[12]		280	N/A		<input type="checkbox"/>	WORD
LocalAE_AVR[13]		4	N/A		<input type="checkbox"/>	WORD
LocalAE_AVR[14]		111	N/A		<input type="checkbox"/>	WORD
LocalAE_AVR[15]		399	N/A		<input type="checkbox"/>	WORD
LocalAE_AVR[16]		616	N/A		<input type="checkbox"/>	WORD
LocalAE_AVR[17]		0	N/A		<input type="checkbox"/>	WORD
LocalAE_AVR[18]		0	N/A		<input type="checkbox"/>	WORD
LocalAE_AVR[19]		0	N/A		<input type="checkbox"/>	WORD

k) Conexión del sensor Autonics TPS20-G17P2-00

El transmisor de presión de 4 a 20 mA a dos hilos se conecta al módulo enchufable 2085–IF4 canal 0 del PLC. En la figura 139 se muestra como se realiza la conexión del transmisor.

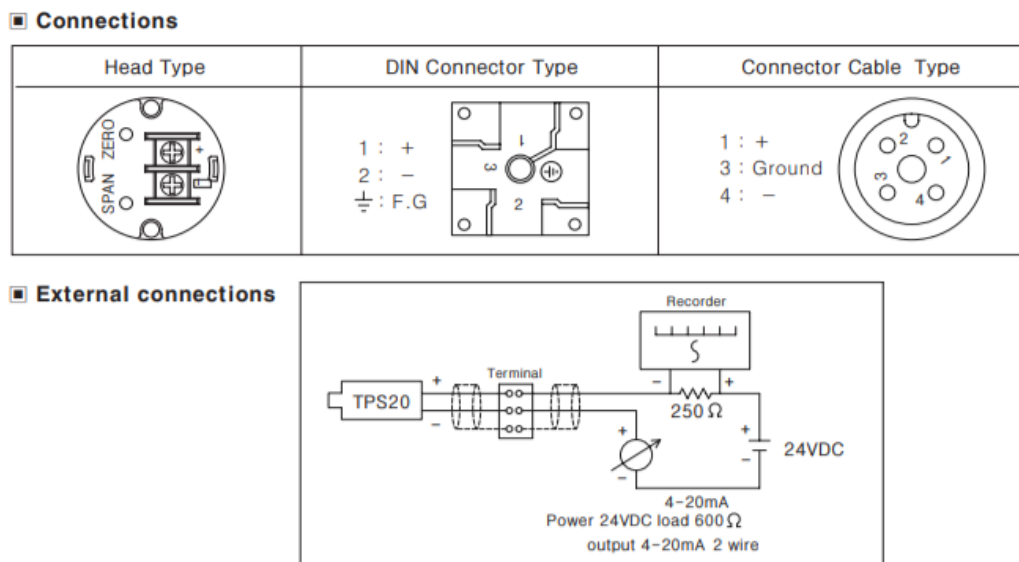


Figura 139. Conexión del sensor de presión al PLC

Para escalar el sensor de presión se usa la ecuación de escala propia del bloque SCALER. En la figura 140 se muestra el bloque con los parámetros de escalado ingresados.

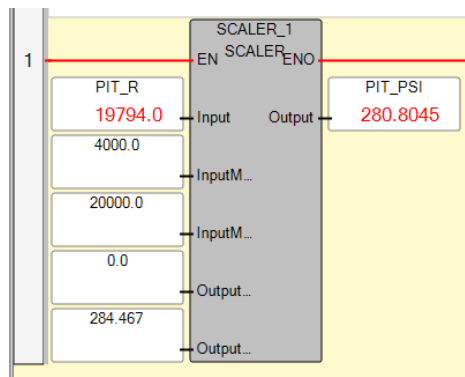


Figura 140. Bloque SCALER.

1) Conexión y configuración del terminal PanelView 800

A continuación, se realiza la conexión del controlador Micro800 al terminal gráfico a través del puerto Ethernet utilizando el protocolo CIP. Los pasos a seguir se muestran a continuación:

- 1.- Conectar la HMI y el controlador mediante el uso del cable Ethernet blindado.
- 2.- Dentro del CCW seleccionar el controlador y en el lado izquierdo, hacer clic en puerto Ethernet.
- 3.- Configurar el puerto como se muestra en la figura 141.

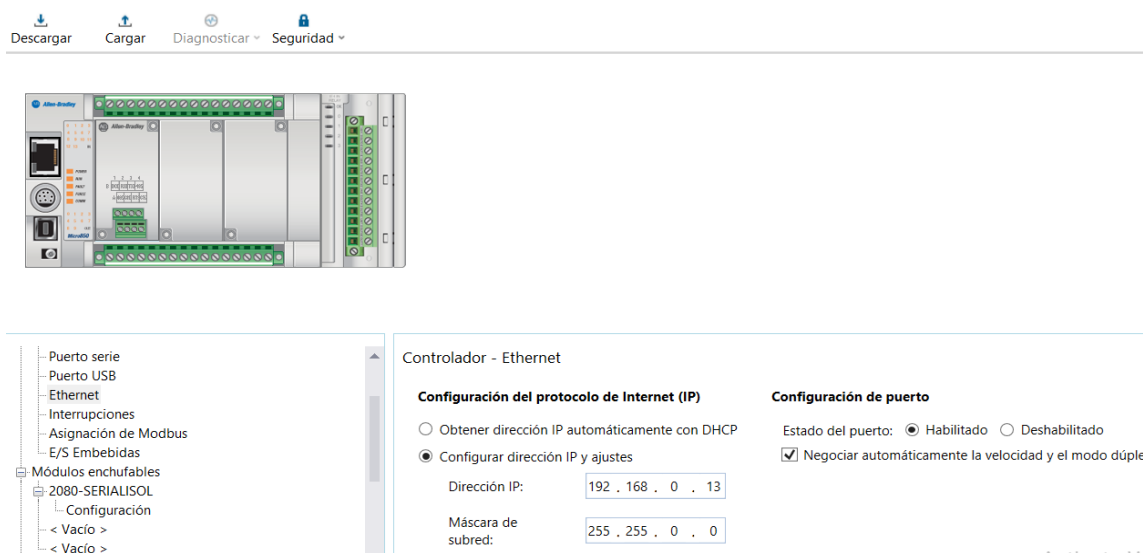


Figura 141. Configuración del puerto Ethernet del PLC.

- 4.- Crear un nuevo proyecto PanelView Component / PanelView 800 arrastrando y soltando una HMI desde la carpeta Terminales gráficos en Catálogo de dispositivos.
- 5.- Hacer doble clic en el icono PVApplication / PV800Application en para abrir la ventana configuración de comunicaciones.

6.- Configurar la ventana de comunicaciones como se muestra en la figura 142.

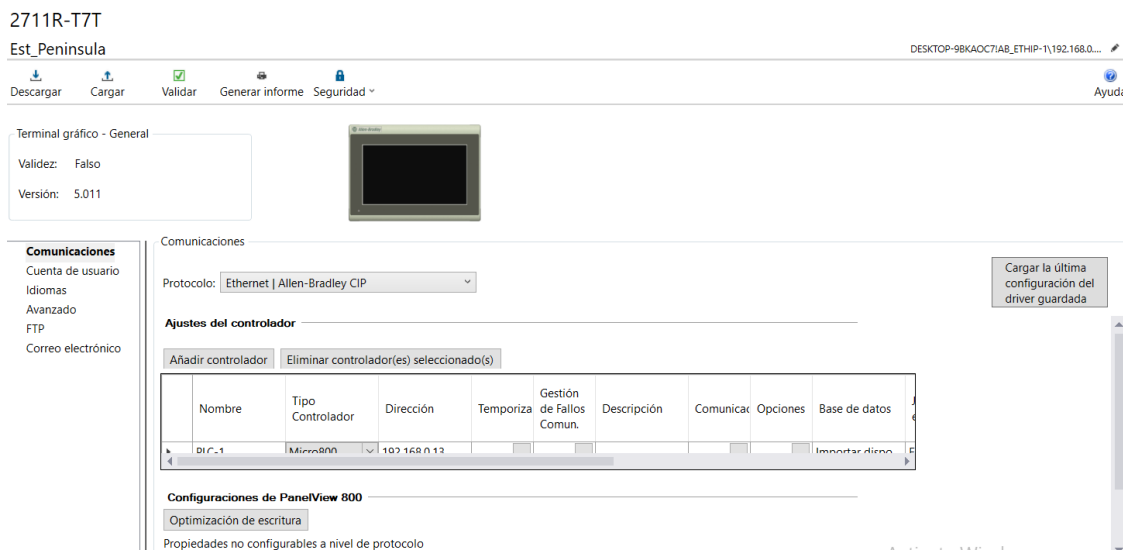


Figura 142. Ventana de comunicaciones del PanelView 800.

Se controla el acceso al terminal usando Ethernet o comunicación serial mediante la habilitación o inhabilitación del puerto respectivo. Los pasos para configurar el terminal gráfico se indican a continuación.

- 1.- Dentro de la pantalla principal de terminal > Ajustes del terminal > Comunicación
- 2.- Seleccionar el botón establecer dirección IP estática y configurar los parámetros como se muestra en la figura 143.

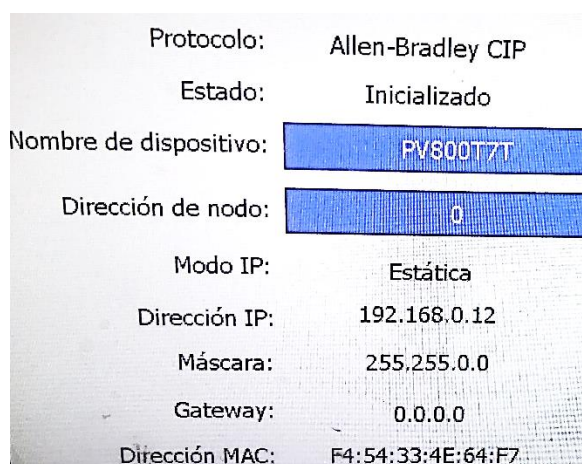


Figura 143. Configurar parámetros de comunicación del terminal gráfico.

3.- Dentro de la pantalla principal de terminal > Sistema > Ajuste del controlador

4.- Ingresar la IP del PLC como se muestra en la figura 144.



Figura 144. Direccionamiento del controlador.

3.4.2. Diseño y levantamiento de las comunicaciones en el tanque de almacenamiento

Todos los equipos existentes en el tanque de almacenamiento se enlazan al PLC mediante los diferentes protocolos de comunicación los cuales son mencionados a continuación:

- Protocolo MODBUS RTU
- Protocolo Bradley Ethernet CIP y
- Protocolo de comunicación inalámbrica LORA

En la figura 145 se muestra el mapa de comunicaciones del tanque de almacenamiento.

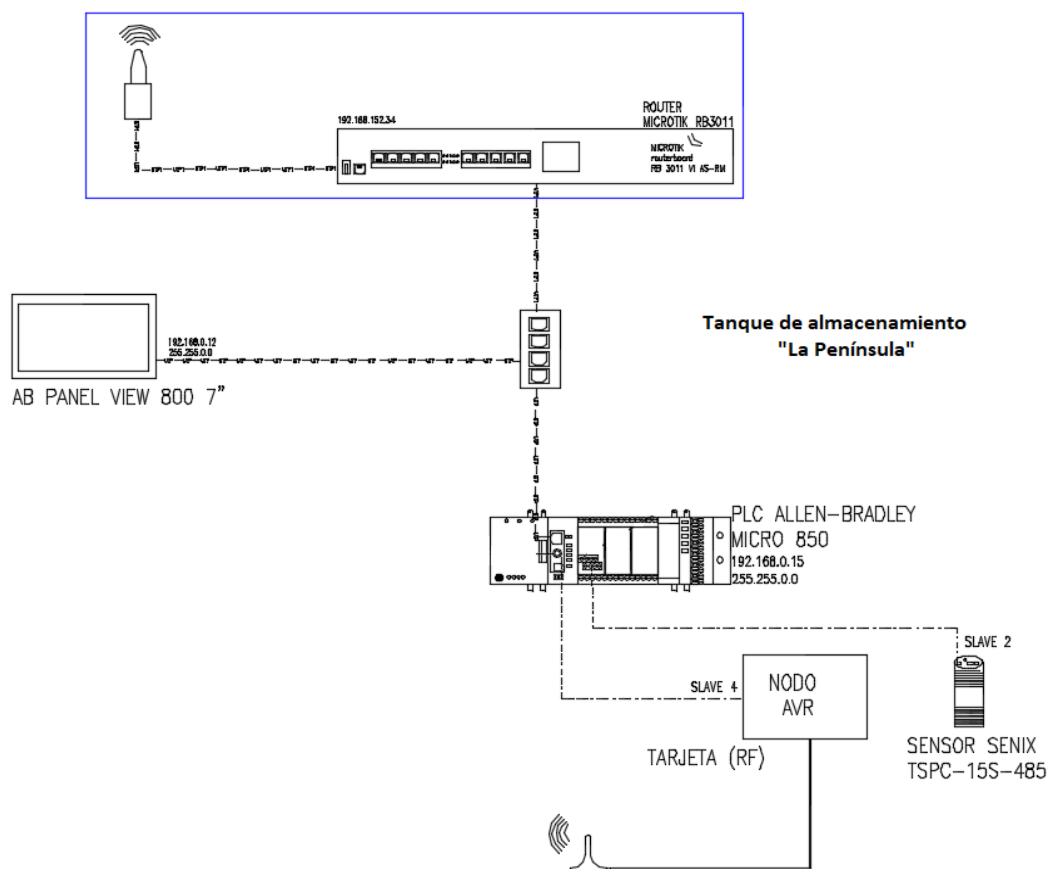


Figura 145. Mapa de comunicaciones del tanque de almacenamiento.

A continuación, se enumeran los componentes que integran la red MOBBUS RTU.

- Sensor Senix TSPC-15S1-485
- Nodo AVR

a) Conexión y configuración del sensor TSPC-15S1-485

La conexión y configuración se la realiza exactamente como el TSPC-15S1-485 mencionado anteriormente. En la figura 146 se muestra la configuración de los parámetros de comunicación del sensor con el SenixVIEW.

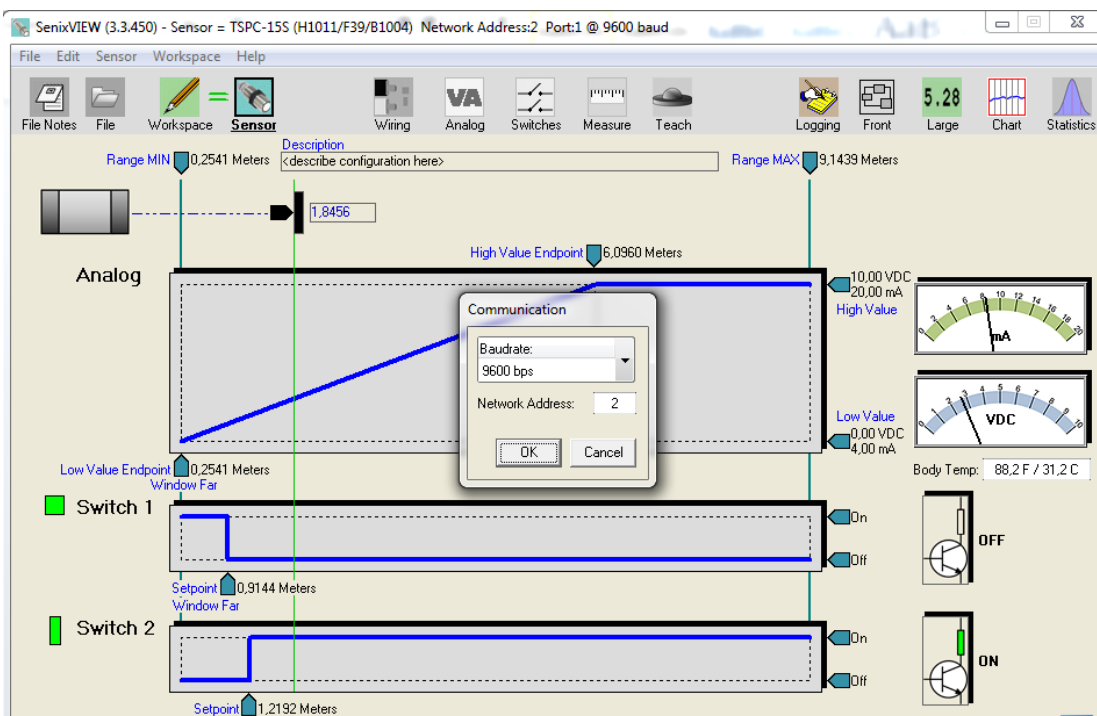


Figura 146. Configuración de los parámetros del sensor con el SenixVIEW.

b) Enlace del sensor TSPC-15S1-485 con el PLC AB MICRO 850.

El mapa de comunicaciones del sensor es idéntico al sensor TSPC-30S1-485 ya mostrado anteriormente. Para la comunicación se hace uso del bloque MSG_MODBUS el cual está activado por el pulso P3 del tren de pulsos de la red como se muestra en la figura 147.

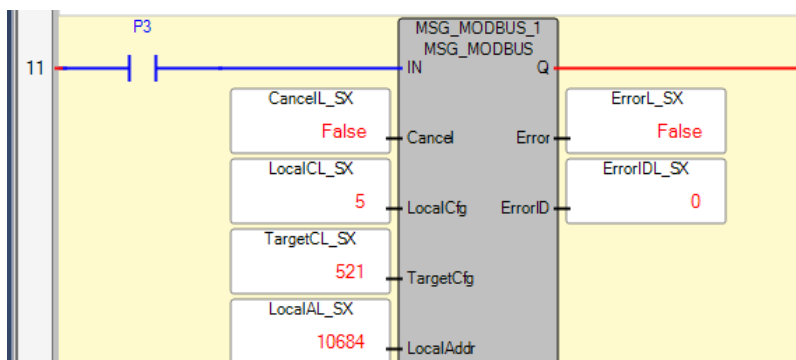


Figura 147. Bloque MSG_MODBUS lectura Senix TSPC-15S1-485.

En la tabla 56 se identifican las variables y los valores que se utilizan para configurar la instrucción MSG_MODBUS de lectura de modo que lea datos del nodo AVR.

Tabla 56.

Valores de las variables del bloque de lectura del Senix TSPC-15S1-485.

Variable	Valor	Descripción
Channel	5	Canal 5: ubicación del módulo SERIALISOL
TriggerType	0	Activador en transición Falso – Cierto
Cmd	3	Código de función de Modbus “03”: Lectura de Holding Registers
ElementCnt	1	Longitud
Addr	521	Dirección de palabra de estado lógico del sensor + 1
Node	2	Dirección del nodo

Los datos recibidos del sensor se almacenan en la matriz de lectura LocalAddr de registros de 125 palabras. En la tabla 57 se muestra la matriz de lectura LocalAddr.

Tabla 57.
Matriz de lectura LocalAL_SXT.

Monitorización de variable							
Variables globales de usuario - Micro850		Variables locales - N/A		Variables del sistema - Micro850		E/S - Micro850	Palabras definidas
Nombre	Alias	Valor lógico	Valor físico	Valor inicial	Bloquear	Tipo de datos	
LocalAL_SX		<input type="checkbox"/>	MODBUSLC	
LocalAL_SX[1]		16398	N/A		<input type="checkbox"/>	WORD	
LocalAL_SX[2]		0	N/A		<input type="checkbox"/>	WORD	
LocalAL_SX[3]		0	N/A		<input type="checkbox"/>	WORD	
LocalAL_SX[4]		0	N/A		<input type="checkbox"/>	WORD	
LocalAL_SX[5]		0	N/A		<input type="checkbox"/>	WORD	
LocalAL_SX[6]		0	N/A		<input type="checkbox"/>	WORD	

El registro de distancia devuelve un recuento entero sin procesar del sensor. Este valor debe convertirse para crear una medición de distancia real. El factor de conversión depende del modelo sensor. En la figura 148 se indica el bloque de conversión. Para convertir el valor de registro sin formato a pulgadas se usa la siguiente fórmula:

$$\text{TSPC15S1 Distancia en pulgadas} = \text{Raw} * 0.006768$$

Donde:

Raw es la variable con el valor puro del sensor.

0.006768 es la constante de transformación a pulgadas del sensor TSPC-15S1-485.

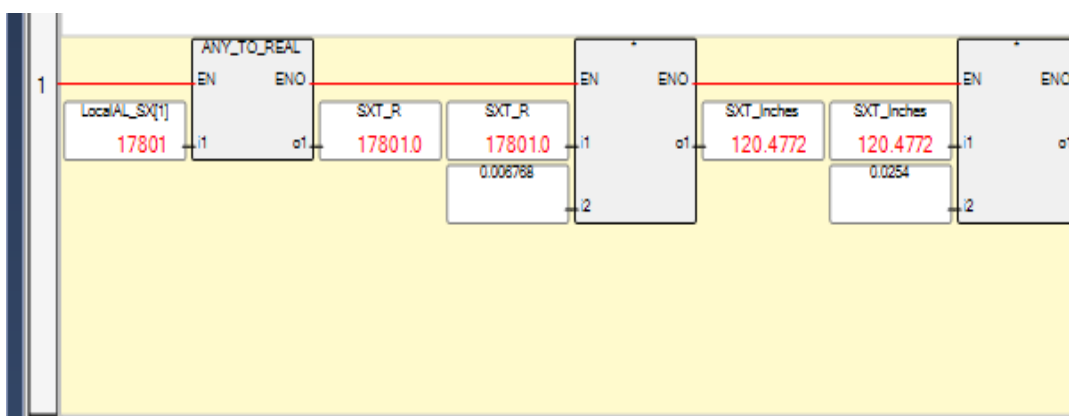


Figura 148. Conversión del registro sin formato.

c) Conexión y configuración del nodo AVR

La conexión y configuración del nodo AVR del tanque de almacenamiento se hace exactamente al nodo AVR de la estación.

d) Enlace del nodo AVR con el PLC AB MICRO 850 2080-LC50-24QWB

En la programación del nodo AVR se configura su mapa de comunicaciones de registros de tipo Holding Registers. Para la aplicación en el proyecto los valores que se manejan como se muestran en la tabla 58.

Tabla 58.

Mapa de comunicaciones del nodo AVR.

Descripción	Registro	Tipo de Dato	Acceso
PM_Corriente A	400011	INT	Lectura (función 3)
PM_Corriente B	400012	INT	Lectura (función 3)
PM_Corriente C	400013	INT	Lectura (función 3)
PM_Voltaje A-B	400014	INT	Lectura (función 3)

CONTINÚA 

PM_Voltaje B-C	400015	INT	Lectura (función 3)
PM_Voltaje C-A	400016	INT	Lectura (función 3)
VFD_ETA	400017	INT	Lectura (función 3)
VFD_Hz	400018	INT	Lectura (función 3)
VFD_Temp_motor	400019	INT	Lectura (función 3)
Senix_estación_nivel	400020	INT	Lectura (función 3)
Badger Meter_Caudal	400021	INT	Lectura (función 3)
Autonics_presión	400022	INT	Lectura (función 3)
Est_local_remoto	400023	INT	Lectura (función 3)
Est_bombas	400024	INT	Lectura (función 3)
VFD_Vout	400025	INT	Lectura (función 3)
VFD_Cout	400026	INT	Lectura (función 3)
Est_LSLL	400027	INT	Lectura (función 3)
Est_Paro	400028	INT	Lectura (función 3)
Senix_estación_COMM	400029	INT	Lectura (función 3)
Badger Meter_COMM	400030	INT	Lectura (función 3)
PM_COMM	400031	INT	Lectura (función 3)
VFD_COMM	400032	INT	Lectura (función 3)
-	400033	INT	Lectura (función 3)
-	400034	INT	Lectura (función 3)

CONTINÚA



-	400035	INT	Lectura (función 3)
Senix_tanque_nivel	400001	INT	Escritura (función16)
Set_cmd	400002	INT	Escritura (función16)
Set_frec	400003	INT	Escritura (función16)
Set_bombas	400004	INT	Escritura (función16)
Sensor_tanque_COMM	400005	INT	Escritura (función16)
-	400006	INT	Escritura (función16)
Set_point_remoto	400007	INT	Escritura (función16)
Set_hyster_remoto	400008	INT	Escritura (función16)
-	400009	INT	Escritura (función16)
-	400010	INT	Escritura (función16)

Para la comunicación se hace uso del bloque MSG_MODBUS de lectura el cual está activado por el pulso PA3 del tren de pulsos como se muestra en la figura 149.

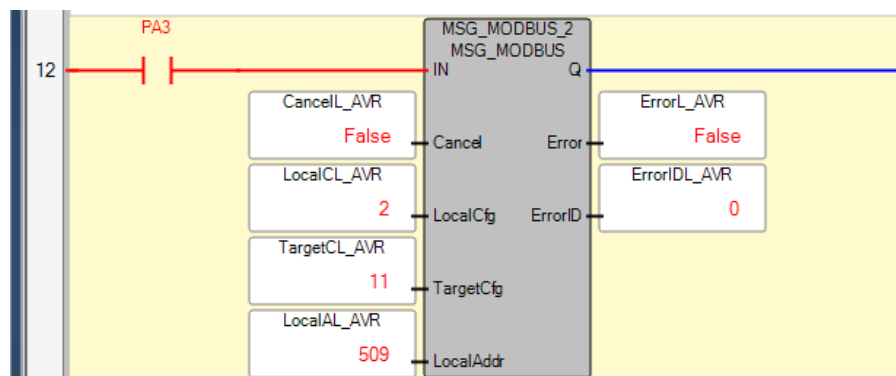


Figura 149. Bloque MSG_MODBUS de lectura del nodo AVR tanque.

En la tabla 59 se identifican las variables y los valores que se utilizan para configurar la instrucción MSG_MODBUS de lectura de modo que lea datos del nodo AVR.

Tabla 59.

Valores de las variables del bloque de lectura del nodo AVR del tanque.

Variable	Valor	Descripción
Channel	2	Canal 5: ubicación del módulo SERIALISOL
TriggerType	0	Activador en transición Falso – Cierto
Cmd	3	Código de función de Modbus “03”: Lectura de Holding Registers
ElementCnt	25	Longitud
Addr	11	Dirección de palabra de estado lógico del nodo AVR
Node	4	Dirección del nodo

Los datos recibidos del nodo AVR se almacenan en la matriz de lectura LocalAddr de registros de 125 palabras. En la tabla 60 se muestra la matriz de lectura LocalAddr.

Tabla 60.
Matriz de lectura LocalAL_AVR.

Monitorización de variable						
Variables globales de usuario - Micro850						
Variables locales - N/A						
Variables del sistema - Micro850						
E/S - Micro850						
Palabras definidas						
Nombre	Alias	Valor lógico	Valor físico	Valor inicial	Bloquear	Tipo de datos
LocalAL_AVR		<input type="checkbox"/>	MODBUSLOCA
LocalAL_AVR[1]		502	N/A		<input type="checkbox"/>	WORD
LocalAL_AVR[2]		495	N/A		<input type="checkbox"/>	WORD
LocalAL_AVR[3]		525	N/A		<input type="checkbox"/>	WORD
LocalAL_AVR[4]		448	N/A		<input type="checkbox"/>	WORD
LocalAL_AVR[5]		446	N/A		<input type="checkbox"/>	WORD
LocalAL_AVR[6]		448	N/A		<input type="checkbox"/>	WORD
LocalAL_AVR[7]		1591	N/A		<input type="checkbox"/>	WORD
LocalAL_AVR[8]		545	N/A		<input type="checkbox"/>	WORD
LocalAL_AVR[9]		40	N/A		<input type="checkbox"/>	WORD
LocalAL_AVR[10]		202	N/A		<input type="checkbox"/>	WORD
LocalAL_AVR[11]		1005	N/A		<input type="checkbox"/>	WORD
LocalAL_AVR[12]		281	N/A		<input type="checkbox"/>	WORD
LocalAL_AVR[13]		4	N/A		<input type="checkbox"/>	WORD
LocalAL_AVR[14]		111	N/A		<input type="checkbox"/>	WORD
LocalAL_AVR[15]		394	N/A		<input type="checkbox"/>	WORD
LocalAL_AVR[16]		576	N/A		<input type="checkbox"/>	WORD
LocalAL_AVR[17]		0	N/A		<input type="checkbox"/>	WORD
LocalAL_AVR[18]		0	N/A		<input type="checkbox"/>	WORD
LocalAL_AVR[19]		0	N/A		<input type="checkbox"/>	WORD
LocalAL_AVR[20]		0	N/A		<input type="checkbox"/>	WORD

Además, se hace uso del bloque MSG_MODBUS de escritura el cual está activado por el pulso PA3 del tren de pulsos como se muestra en la figura 150.

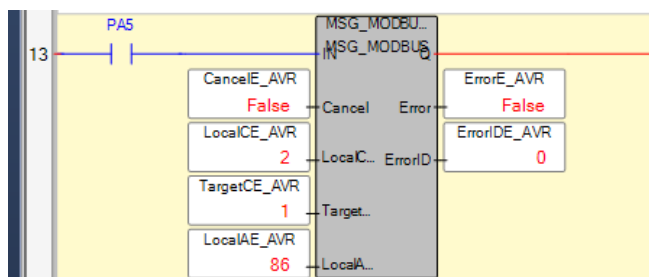


Figura 150. Bloque MSG_MODBUS de escritura del nodo AVR tanque.

En la tabla 61 se identifican las variables y los valores que se utilizan para configurar la instrucción MSG_MODBUS de escritura de modo que lea datos del nodo AVR.

Tabla 61.*Valores de las variables del bloque de escritura del nodo AVR.*

Variable	Valor	Descripción
Channel	2	Canal 5: ubicación del módulo SERIALISOL
TriggerType	0	Activador en transición Falso – Cierto
Cmd	16	Código de función de Modbus “16”: Lectura de Holding Registers
ElementCnt	10	Longitud
Addr	1	Dirección de palabra de estado lógico del nodo AVR
Node	4	Dirección del nodo

Los datos recibidos del nodo AVR se almacenan en la matriz de escritura LocalAddr de registros de 125 palabras. En la tabla 62 se muestra la matriz de escritura LocalAddr.

Tabla 62.
Matriz de escritura LocalAE_AVR tanque.

Nombre	Alias	Valor lógico	Valor físico	Valor inicial	Bloquear	Tipo de datos	Dimensión
LocalAE_AVR			MODBUSLC	
LocalAE_AVR[1]		71	N/A		<input type="checkbox"/>	WORD	
LocalAE_AVR[2]		0	N/A		<input type="checkbox"/>	WORD	
LocalAE_AVR[3]		0	N/A		<input type="checkbox"/>	WORD	
LocalAE_AVR[4]		0	N/A		<input type="checkbox"/>	WORD	
LocalAE_AVR[5]		0	N/A		<input type="checkbox"/>	WORD	
LocalAE_AVR[6]		0	N/A		<input type="checkbox"/>	WORD	
LocalAE_AVR[7]		225	N/A		<input type="checkbox"/>	WORD	
LocalAE_AVR[8]		75	N/A		<input type="checkbox"/>	WORD	
LocalAE_AVR[9]		0	N/A		<input type="checkbox"/>	WORD	
LocalAE_AVR[10]		0	N/A		<input type="checkbox"/>	WORD	
LocalAE_AVR[11]		0	N/A		<input type="checkbox"/>	WORD	
LocalAE_AVR[12]		0	N/A		<input type="checkbox"/>	WORD	
LocalAE_AVR[13]		0	N/A		<input type="checkbox"/>	WORD	
LocalAE_AVR[14]		0	N/A		<input type="checkbox"/>	WORD	
LocalAE_AVR[15]		0	N/A		<input type="checkbox"/>	WORD	
LocalAE_AVR[16]		0	N/A		<input type="checkbox"/>	WORD	
LocalAE_AVR[17]		0	N/A		<input type="checkbox"/>	WORD	
LocalAE_AVR[18]		0	N/A		<input type="checkbox"/>	WORD	

3.5. Implementación de lógicas de control de la estación de bombeo la Península

3.5.1. Análisis de las condiciones de funcionamiento del sistema

En el sistema de distribución de agua potable La Península, el tanque de almacenamiento obtiene su nivel de líquido de la impulsión producida desde la estación de bombeo, la misma que adquiere el ingreso de agua desde una vertiente para almacenarla en una tanque de succión del cual, mediante dos bombas verticales tipo turbina comandadas por un variador de frecuencia Schneider ATV 630 regido al funcionamiento del PLC Allen Bradley Micro 850, se realiza el bombeo hasta el tanque de almacenamiento. Cabe recalcar que en el tanque de succión se realiza la cloración para la potabilización del agua mediante el ingreso de la dosificación de cloro/gas requerida.

Para el correcto funcionamiento de la estación de bombeo se tiene en cuenta las siguientes condiciones:

Condiciones para el arranque:

Para el arranque de cualquier bomba de impulsión se cumple la siguiente cadena de seguridad:

1. Nivel alto en el tanque de succión mediante la indicación del sensor de nivel tipo boya (LSLL).
2. Verificación de voltajes en las tres fases a través del medidor de parámetros (PM) .
3. Paro de emergencia abierto (PE)
4. Temperatura óptima del motor acorde a su placa de datos (VFD)

Antes del arranque de las bombas se activa una baliza durante 6 s que indica que la bomba está por arrancar.

Condiciones durante el arranque de los equipos de bombeo:

1. Si la presión de bombeo es menor a 250 PSI y la corriente es 30% menor a la nominal se suspende el bombeo y se emite la alarma correspondiente.
2. Si la presión es menor a 250 PSI y la corriente se comienza a elevar, el variador trabaja a mínima frecuencia de impulsión hasta obtener la presión de 300PSI en donde trabaja a su frecuencia normal emitiendo la alarma correspondiente a esta condición.
3. Si la corriente de operación supera el 101% de la corriente nominal del motor se emite la alarma correspondiente.
4. Si la corriente de operación supera el 115% de la corriente nominal del motor durante un tiempo de 30m se suspende el bombeo y se emite la alarma correspondiente.
5. Si la corriente de operación supera el 116% de la corriente nominal del motor se suspende inmediatamente el bombeo y se emite la alarma que corresponda.

6. Si existe una variación de $\pm 10\%$ del voltaje de línea en el tablero de distribución, se suspende el bombeo y se emite la alarma correspondiente.

7. Si existe una pérdida de fase o un desbalance de corrientes entre fases se suspende el bombeo y se emite la alarma que corresponda.

8. Si existe una sobre temperatura superior a los $130\text{ }^{\circ}\text{C}$ inmediatamente se suspende el bombeo mostrando la alarma correspondiente y se impide el arranque del motor hasta que la temperatura baje por debajo de lo indicado en la placa del motor.

3.5.2. Filosofía de Operación

La filosofía de operación de la estación de bombeo la Península se rige al estado del selector S2 indicado en el plano de fuerza control de la estación de bombeo en el anexo A, el cual permite escoger entre la opción Local/Remoto y posteriormente seleccionar la opción Manual/Automático obteniendo así cuatro estados de operación los cuales son: Local Manual, Local Automático, Remoto Manual y Remoto Automático, como se muestra en la figura 151.

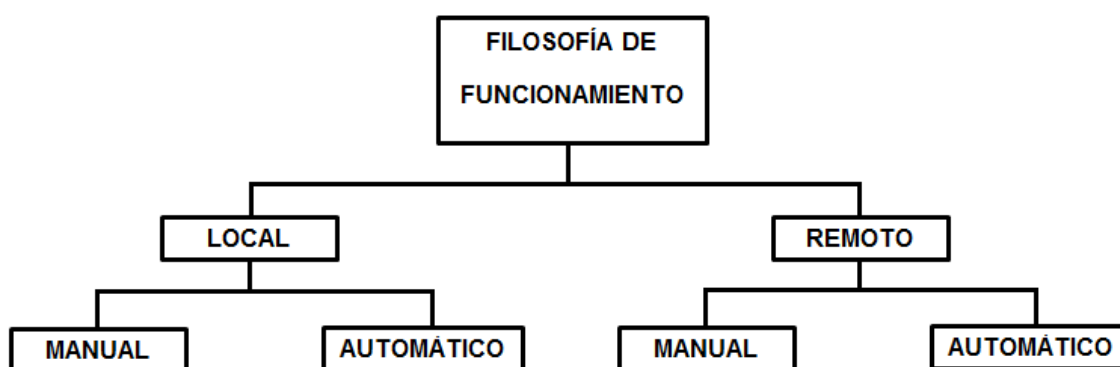


Figura 151. Filosofía del funcionamiento

A continuación, se definen los cuatro modos de operación mencionados anteriormente

Local-Manual: en este modo de operación el funcionamiento de la estación se controla solamente desde la estación de bombeo, quedando a potestad del operador las decisiones a tomar durante dicho funcionamiento.

Local-Automático: al estar trabajando en este modo de operación, el control de la estación es totalmente automático, las condiciones necesarias para este funcionamiento son seteados por el operador únicamente desde la estación de bombeo, todo el control es de forma autónoma y el operador está encargado solamente de dar el inicio al funcionamiento del control.

Todas las acciones realizadas en estos modos de operación son reflejadas en el tanque de almacenamiento para en un futuro ser mostradas en el SCADA de la Central de Monitoreo

Remoto-Manual: en este modo de operación el funcionamiento de la estación se controla desde el tanque de almacenamiento y a futuro desde el SCADA de la Central de Monitoreo, quedando a potestad del operador del SCADA las decisiones a tomar durante el funcionamiento.

Remoto-Automático: al estar trabajando en este modo de operación, el control de la estación es totalmente automático, las condiciones necesarias para este funcionamiento son seteados por el operador del SCADA desde el tanque de almacenamiento y a futuro desde el SCADA de la Central de Monitoreo, todo el control es de forma autónoma y el operador del SCADA está encargado solamente de dar el inicio al funcionamiento del control.

Todas las acciones realizadas en estos modos de operación son reflejadas en la estación de bombeo.

3.5.3. Implementación del control automático

Los PLC's de la estación de bombeo, así como del tanque de almacenamiento, encargados de comandar las acciones de funcionamiento de la estación, tienen su lógica de programación descrita en los diagramas de lógicas de control que se encuentran en el Anexo A.

Para los modos de operación que tiene la opción automática se implementa un lazo de control de tipo On-Off con histéresis, debido a la lenta respuesta en el tiempo que presenta la variable controlada (nivel). Este tipo de control se implementa usando un bloque de instrucciones de control de proceso propio del PLC Allen Bradley llamado HYSTER, el cual se aprecia en la figura 152.

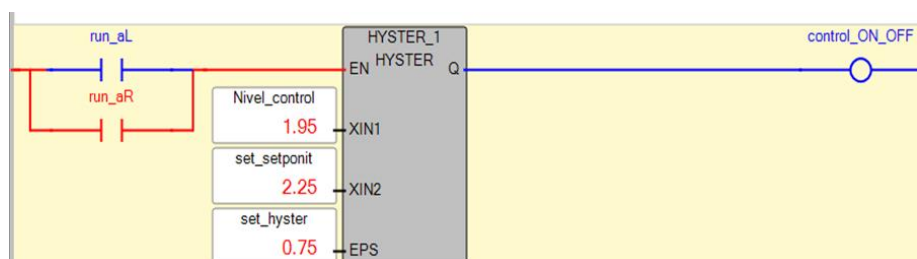


Figura 152. Bloque de control de proceso *propio* del PLC, HYSTER

Los parámetros que se observan en el bloque de control de proceso HYSTER se los describe en la tabla 63.

Tabla 63.
Parámetros del bloque HYSTER

Parámetro	Descripción
EN	Entrada de tipo booleana , activa el bloque de instrucción cuando se encuentra en estado verdadero
XIN1	Entrada de tipo real, contiene el valor de la variable del proceso (PV)
XIN2	Entrada de tipo real, contiene el valor deseado (SP)
EPS	Entrada de tipo real, contiene el valor de la histéresis (mayor que cero)
Q	Salida de tipo booleana, se activa cuando la variable del proceso (PV) ha superado el límite superior pero no está por debajo del límite inferior, se desactiva cuando la variable del proceso (PV) no ha superado el límite superior

Este bloque de control compara el valor actual de una entrada (XIN1) con el límite alto establecido producto de la suma del valor esperado (XIN2) más la histéresis (EPS) determinando si el valor actual supera este límite, de haberlo hecho el bloque activa su salida hasta que el valor de la entrada sea menor al límite inferior producto de la resta del valor esperado menos la histéresis. En la figura 153 se muestra el diagrama del comportamiento de este bloque.

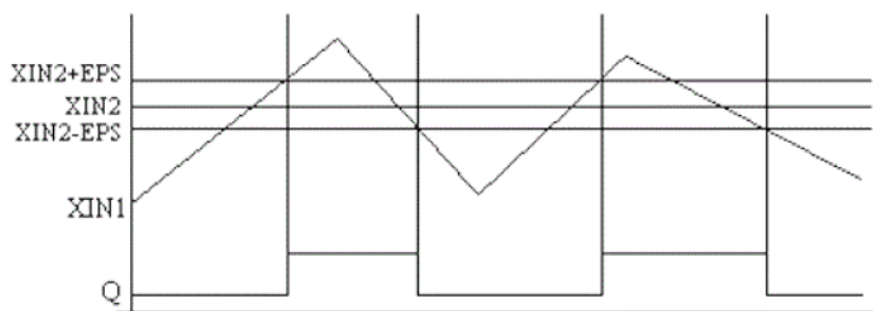


Figura 153. Diagrama del comportamiento del bloque de control.

3.6. Diseño de la interfaz de las pantallas HMI PanelView 800

Una vez realizada la conexión y configuración de los terminales gráficos se procede al diseño de las interfaces mediante el software PV800 DesignStation que es un componente del software Connected Components Workbench. Dentro de ambas terminales gráficas existen varias pantallas lógicas las cuales están estructuradas como se muestra en la figura 154.

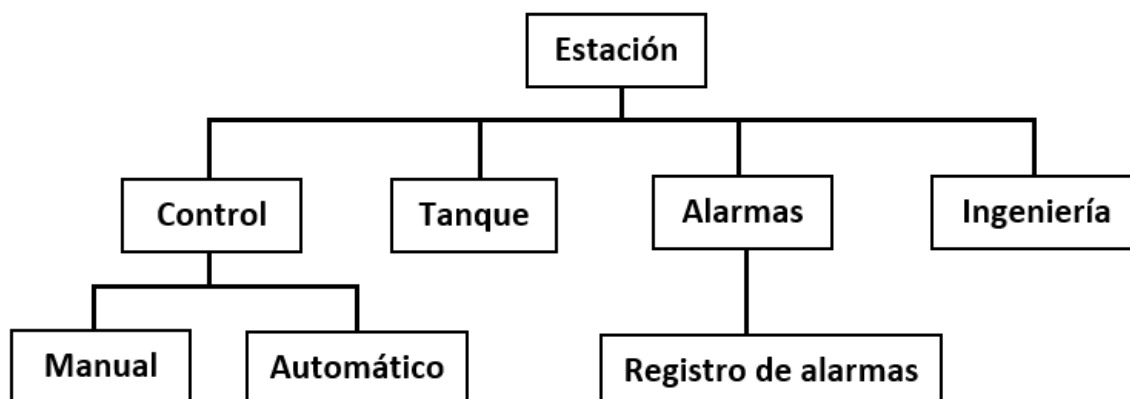


Figura 154. Estructura de las pantallas lógicas.

3.6.1. Diseño tridimensional de las instalaciones físicas de la estación de bombeo

Se realiza el diseño en tres dimensiones de las instalaciones físicas tanto de la estación de bombeo como del tanque de almacenamiento para ser agregadas a las pantallas lógicas como imágenes y posteriormente animarlas. Para el diseño se hace uso del software dedicado al modelado tridimensional Blender. En la figura 155 se muestra el entorno de desarrollo en modo edición.

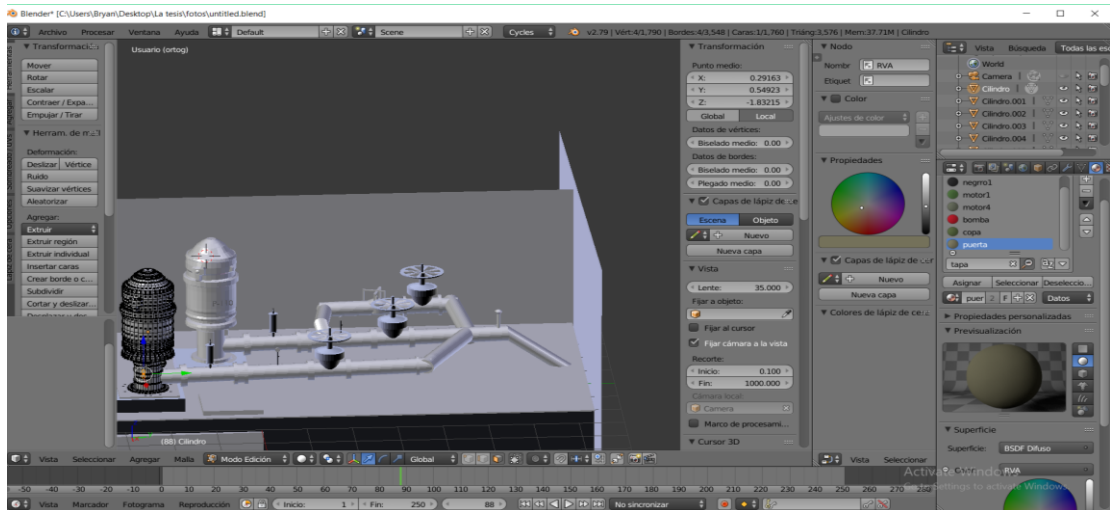


Figura 155. Entorno de desarrollo de Blender en modo edición.

Para un texturizado realista se hace uso de la ventana de edición de nodos, en donde se puede agregar diferentes bloques de diseño y anidarlos dependiendo la aplicación, dando como resultado un acabado personalizado. En la figura 156 se muestra la ventana de edición de nodos.

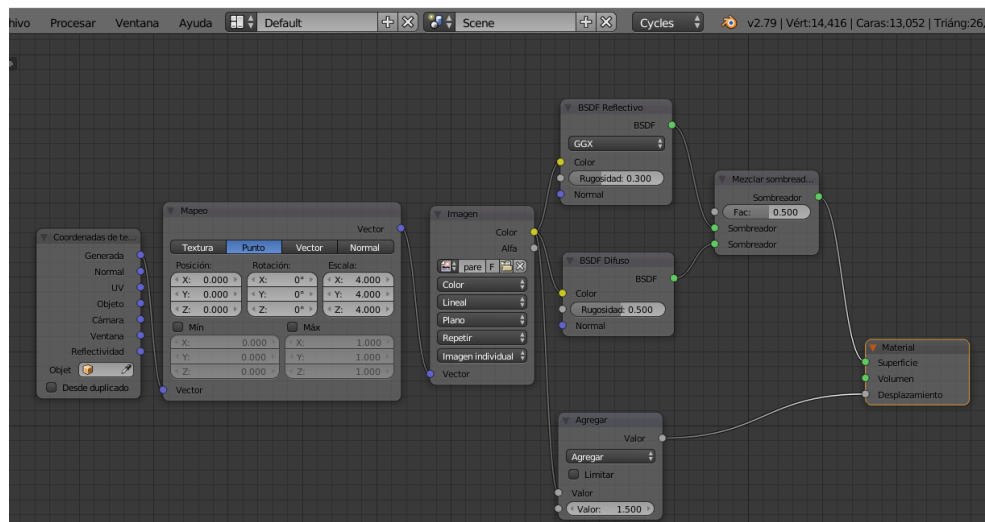


Figura 156. Ventana de edición de nodos de Blender.

3.6.2. Direccionamiento de las variables del PanelView 800 con el PLC micro 850

Dentro del software PV800 DesignStation existe el editor de etiquetas (tabla 64) el cual permite direccionar las variables creadas en terminal gráfico hacia las variables creadas en el controlador. Esto permite la lectura y escritura bidireccional entre ambos equipos.

Tabla 64.
Mapa de etiquetas externas.

Nombre de etiqueta	Tipo de datos	Dirección	Controlador	Descripción
P_Sx_Meters	Real	SX_Meters	PLC-1	
P_MMC	Real	MMC	PLC-1	
P_PIT_PSI	Real	PIT_PSI	PLC-1	
P_ATV_Hz	Real	ATV_Hz	PLC-1	
P_ATV_I	Real	ATV_I	PLC-1	
P_ATV_V	32 bit integ...	ATV_V	PLC-1	
P_ATV_TV	16 bit integ...	ATV_TM_Cent	PLC-1	
P_Est_RUN	Boolean	Est_RUN	PLC-1	
P_Est_STOP	Boolean	Est_STOP	PLC-1	
P_Est_FALLA	Boolean	Est_FALLA	PLC-1	
P_act_P110	Boolean	act_P110	PLC-1	
P_act_P120	Boolean	act_P120	PLC-1	
P_ind_P110	Boolean	_JO_EM_DO_0	PLC-1	
P_in_P120	Boolean	_JO_EM_DO_0	PLC-1	
P_est_Local	Boolean	est_Local	PLC-1	
P_est_Remo...	Boolean	est_remoto	PLC-1	
P_Set_frec	Real	Set_frec	PLC-1	
P_set_run_m	Boolean	set_run_mL	PLC-1	
P_set_stop_m	Boolean	set_stop_mL	PLC-1	
P_set_falla_...	Boolean	set_falla_mL	PLC-1	
P_SXT_meters	Real	SXT_Meters	PLC-1	
P_cond_bo...	Boolean	Cond_bomba	PLC-1	
P_bloq_bo...	Boolean	bloq_bombas	PLC-1	
P_art_ml	Boolean	art_ml	PLC-1	

3.6.3. Administración de los ajustes de cuentas de usuario

En los PanelView 800 se puede añadir hasta 16 cuentas de usuario, cada cuenta tiene un nombre de usuario y contraseña. La pantalla lógica **Ingeniería** tiene un entorno de diseño protegido, el usuario necesita de una clave de acceso para el ingreso. La administración de los ajustes de cuenta de usuario se realiza siguiendo los siguientes pasos:

1.- En la pantalla principal de Connected Components Workbench, hacer clic en la ficha configuraciones del terminal PanelView 800.

- 2.- Hacer clic en cuenta de usuario en la lista de opciones.
- 3.- Para añadir un usuario seleccionar la casilla “Entorno de diseño protegido”.
- 4.- Hacer clic en “Añadir usuario” para crear una nueva cuenta, donde aparece el cuadro de diálogo de seguridad.
- 5.- Introducir los campos en el cuadro de diálogo y hacer clic en “añadir”.
6. Seleccionar las casillas “Contraseña” e “Ingeniería”.
- 7.- Dentro de la pantalla lógica de Ingeniería en propiedades > Pantalla > Derechos de Acceso > Ingeniería, lo que se ve en la figura 157

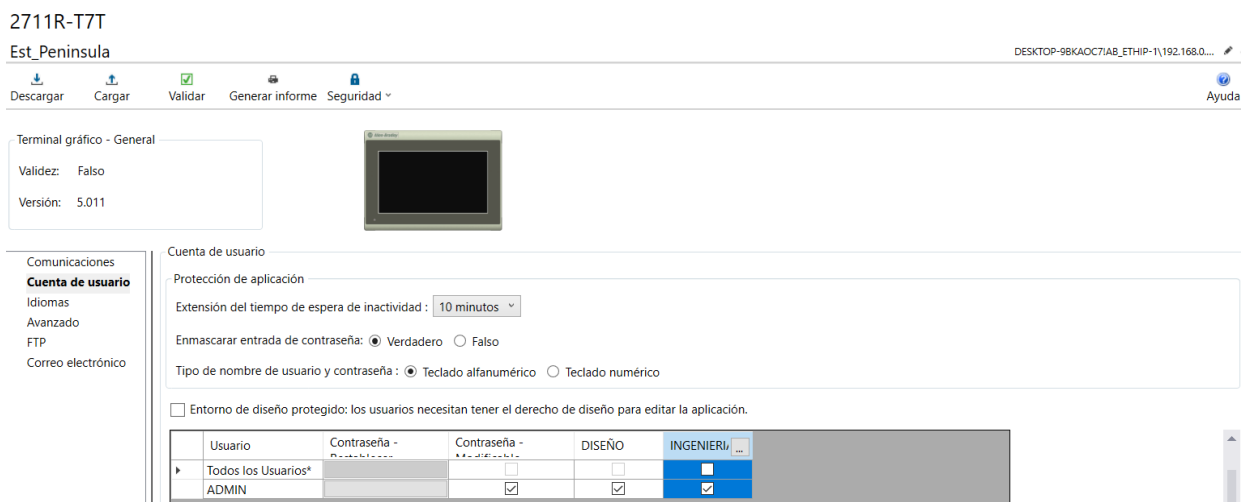


Figura 157. Configuración cuenta de usuario del terminal gráfico.

3.6.4. Configuración de las alarmas globales

Dentro del PV800 DesignStation en la pestaña “Alarmas” se añade y configura todas las alarmas y fallas del proceso. La alarma configurada tiene dos opciones importantes “Pantalla”, la cual muestra una pantalla emergente cuando se dispara la alarma con el mensaje de aviso correspondiente, y además tiene la opción “Registro”, el cual permite realizar un histórico de

alarmas de las últimas cien alarmas disparadas. En la pantalla lógica “Registro de alarmas” existe una lista en donde se muestra las últimas diez alarmas disparadas con el mensaje, hora y fecha como se muestra en la tabla 65. Se puede extraer el histórico de alarmas completo como se ve en la figura 158, por medio de una unidad USB externa. En el Anexo B se muestra los informes técnicos detallados de las terminales gráficas.

Tabla 65.
Configuración de alarmas globales.

Activador	Detección de flanco	Valor	Modo de banda muerta	Nivel de banda muerta	Mensaje	Imprimir	Enviar correo electrónico	Asunto	Confir.	Pantalla	Registro
P_cond_115In	Igual	1	Porcentaje	0	Sobrecarga en equipos de bombeo	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
P_cond_116In	Igual	1	Porcentaje	0	Sobrecarga y sobrecorriente en eq	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
P_cond_desb_l_fases	Igual	1	Porcentaje	0	Desbalance de corrientes entre fase	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
P_cond_perd_fase	Igual	1	Porcentaje	0	Pérdida de fase de red	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
P_cond_PM_V	Igual	1	Porcentaje	0	Fallo en voltajes de fase de red *N	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
P_cond_temp_motor	Igual	1	Porcentaje	0	Sobrettemperatura motor *Nota: No	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
P_cond_temp_motor_factor_servicio	Igual	1	Porcentaje	0	Motor trabajando con factor de ser	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
P_Est_FALLA	Igual	1	Porcentaje	0	Falla en el Variador de Frecuencia	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
P_FQIT_COMM	Igual	1	Porcentaje	0	Falla comunicación macromedidor	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
P_LSL	Igual	1	Porcentaje	0	Sensor boyas activado (bombeo en v	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
P_LTO_COMM	Igual	1	Porcentaje	0	Falla comunicación sensor nivel	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
P_LT1_COMM	Igual	1	Porcentaje	0	Falla comunicación sensor nivel t	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
P_PE	Igual	1	Porcentaje	0	Paro de emergencia activo *Nota: N	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
P_PIT_COMM	Igual	1	Porcentaje	0	Falla comunicación sensor de pres	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
P_PM_COMM	Igual	1	Porcentaje	0	Falla comunicación medidor de p	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

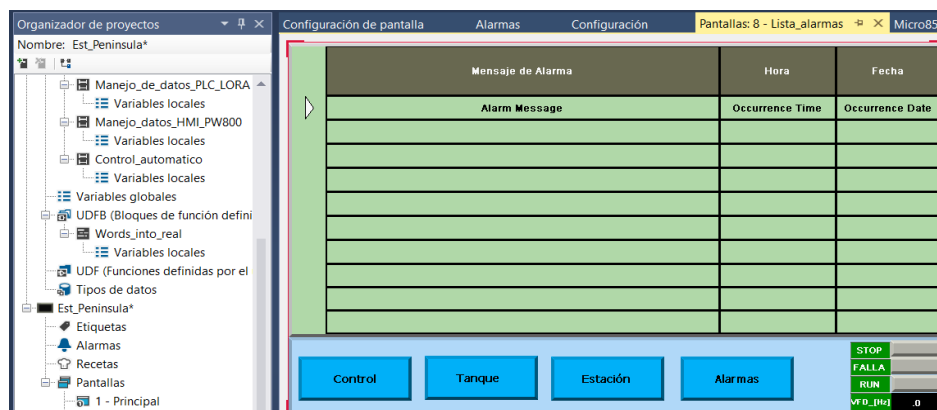


Figura 158. Interfaz de la lista de alarmas.

CAPÍTULO IV

PRUEBAS Y RESULTADOS DEL PROYECTO

En este capítulo se presenta los resultados de la implementación de las instalaciones eléctricas y electrónicas, la validación del sistema implementado a través de las pruebas de comunicación y finalmente las pruebas de funcionalidad del sistema completo.

4.1. Instalaciones eléctricas y electrónicas

4.1.1. Instalaciones eléctricas y electrónicas implementadas en el tanque de almacenamiento.

En la figura 159 se muestra el tablero de control en funcionamiento, con todos sus elementos y cables etiquetados, para esto se hizo uso de una etiquetadora BRADY BMP 21-PLUS como se muestra en la figura 160.



Figura 159. Tablero de control de la estación en funcionamiento



Figura 160. Etiquetadora BRADY BMP 21-PLUS.

En la figura 161, se muestran las conexiones de la caja de paso del tanque, con sus elementos etiquetados.

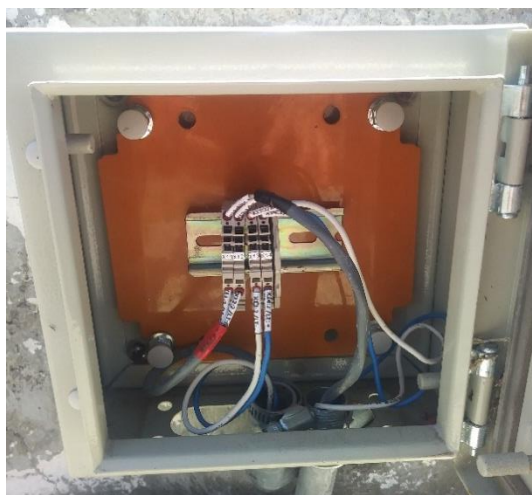


Figura 161. Conexiones de la caja de paso del tanque

Para la ubicación de la antena del nodo AVR se instaló un soporte de metal sobre la pared de la caseta ubicada a una 1,90m del piso. En la figura 162 se visualiza la antena instalada.



Figura 162. Antena instalada

4.1.1. Instalaciones eléctricas y electrónicas implementadas en la estación.

Una vez levantada las comunicaciones e implementadas las lógicas de control, se procede a poner en marcha la estación desde la pantalla PanelView 800. En la figura 163 se muestra el tablero de fuerza y control en funcionamiento en modo “Control desde pantalla PanelView, además se visualiza la reubicación de las tuberías provenientes del transmisor de presión, medidor de caudal y del sensor de nivel ultrasónico.



Figura 163. Tablero de fuerza y control en funcionamiento

En la figura 164 se muestra todos los componentes instalados en el doble fondo del tablero etiquetados. En la figura 165 se muestra la parte posterior de la puerta del tablero.



Figura 164. Componentes instalados en el doble fondo del tablero



Figura 165. Parte posterior de la puerta del tablero

Se instaló un soporte de metal rectangular sobre la viga ubicada en el techo del cuarto de máquinas a una altura 3,95m del piso, en donde se ubica la antena del nodo AVR. En la figura 166 se muestra la ubicación de la antena.



Figura 166. Antena instalada

4.2. Validación de las comunicaciones del sistema implementado

Una vez que el sistema estuvo debidamente implementado, se pudieron realizar diferentes pruebas directamente relacionadas a los dispositivos, verificando su correcta comunicación. Mediante los monitores de comunicación se puede diagnosticar la red MODBUS RTU en conjunto y la comunicación inalámbrica LORA. Se realizaron pruebas tanto para los equipos del tanque de almacenamiento, como para los equipos de la estación de bombeo.

4.2.1. Pruebas de comunicación de la red MODBUS RTU

Para las pruebas de comunicación de la red MODBUS RTU se realizó mediante de la ayuda del monitor de diagnóstico de comunicación de los puertos de comunicación propio del PLC Allen Bradley micro 850 instalado en el tanque de almacenamiento y en la estación de bombeo.

En la figura 167 se muestra el diagnóstico del canal 5 con el módulo enchufable 2080-SERIALISOL del PLC del tanque de almacenamiento. En el módulo se encuentra conectado el sensor ultrasónico de nivel Senix TSPC-15S1-485.

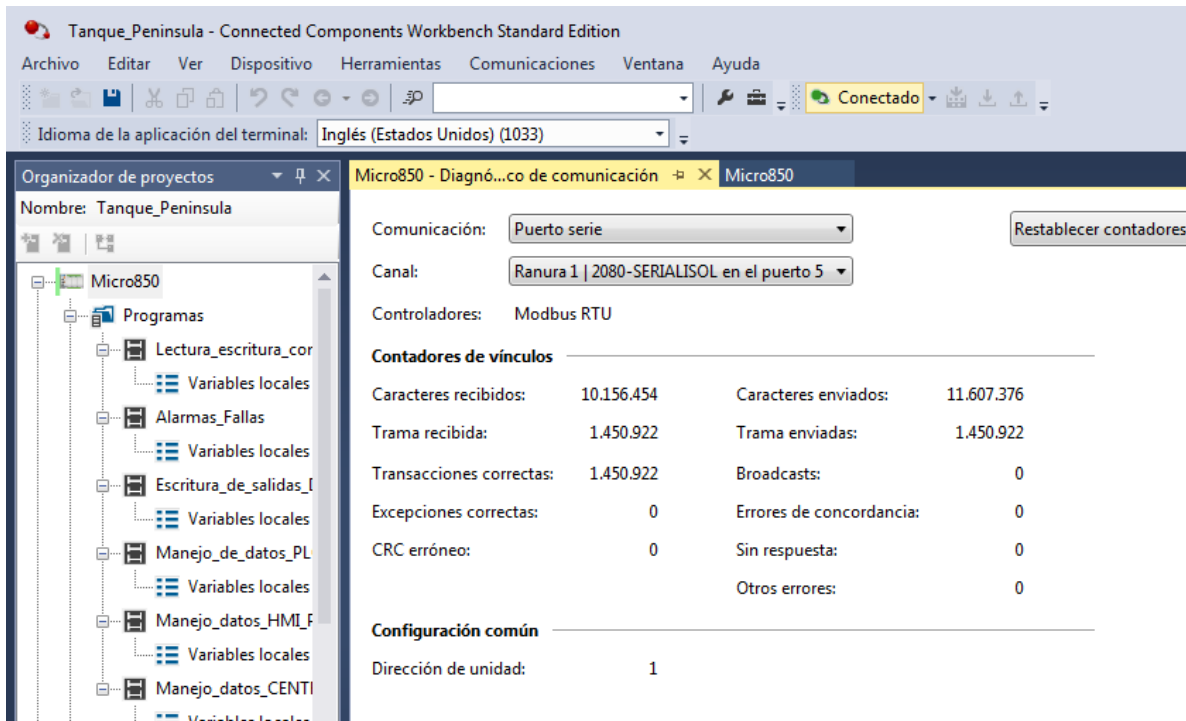


Figura 167. Diagnóstico de comunicación del puerto 5 del PLC del Tanque

En base a un análisis de las transacciones correctas y errores de comunicación se determina mediante la ecuación 3 el porcentaje de comunicaciones correctas, y mediante la ecuación 4 el porcentaje de comunicaciones perdidas como se puede ver a continuación:

Tasa de comunicaciones correctas:

$$C. Correctas = \frac{\text{Transacciones correctas} * 100\%}{\text{Tramas comunicadas}} = \frac{1,450,922 * 100\%}{1,450,922} = 100.0\% \quad (3)$$

Tasa de comunicaciones perdidas:

$$C. Perdidas = \frac{\text{Errores de comunicación} * 100\%}{\text{Tramas comunicadas}} = \frac{0 * 100\%}{1,450,922} = 0.0\% \quad (4)$$

Del resultado de estos cálculos se puede observar que la comunicación entre el sensor ultrasónico de nivel Senix TSPC-15S1-485 y el PLC del tanque de almacenamiento da una tasa de error de 0% comprobando así que la comunicación implementada es 100% efectiva.

En la figura 168 se muestra el diagnóstico del canal 2 del puerto serial incorporado del PLC de la estación. En el canal 2 se encuentra establecida la comunicación entre el PLC y el nodo AVR.

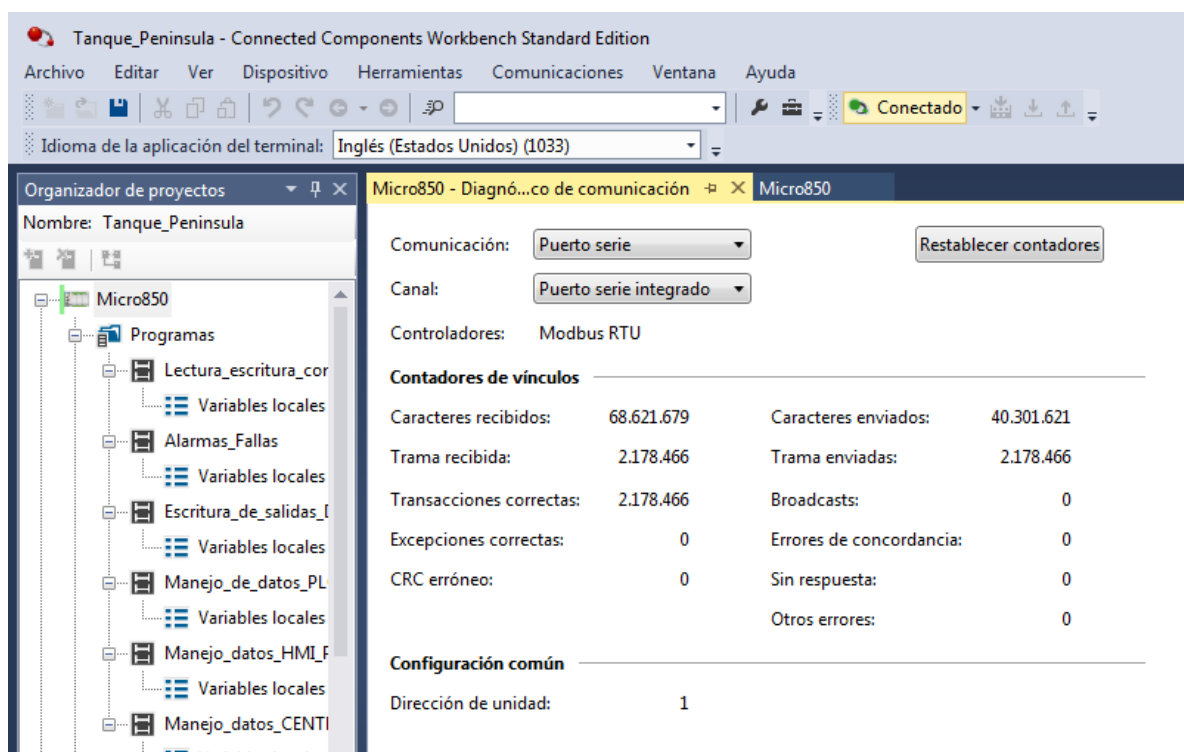


Figura 168. Diagnóstico de comunicación del puerto 2 del PLC del Tanque

En base a un análisis de las transacciones correctas y errores de comunicación se determina mediante la ecuación 5 el porcentaje de comunicaciones correctas, y mediante la ecuación 6 el porcentaje de comunicaciones perdidas como se puede ver a continuación:

Tasa de comunicaciones correctas:

$$C. Correctas = \frac{\text{Transacciones correctas} * 100\%}{\text{Tramas comunicadas}} = \frac{2,178,466 * 100\%}{2,178,466} = \mathbf{100.0\%} \quad (5)$$

Tasa de comunicaciones perdidas:

$$C. Perdidas = \frac{\text{Errores de comunicación} * 100\%}{\text{Tramas comunicadas}} = \frac{0 * 100\%}{2,178,466} = \mathbf{0.0\%} \quad (6)$$

Del resultado de estos cálculos se puede observar que la comunicación implementada entre el PLC y la pasarela de comunicación (nodo AVR) del tanque de almacenamiento da una tasa de error de 0% comprobando así que la comunicación implementada es 100% efectiva.

En la figura 169 se muestra el diagnóstico del canal 5 con el módulo enchufable 2080-SERIALISOL del PLC de la estación de bombeo. En el módulo está conectados los equipos: variador Altivar ATV 630, Sensor Senix TSPC-30S1-485, medidor de parámetros PM-5500 y el macromedidor de flujo Badger Meter M2000.

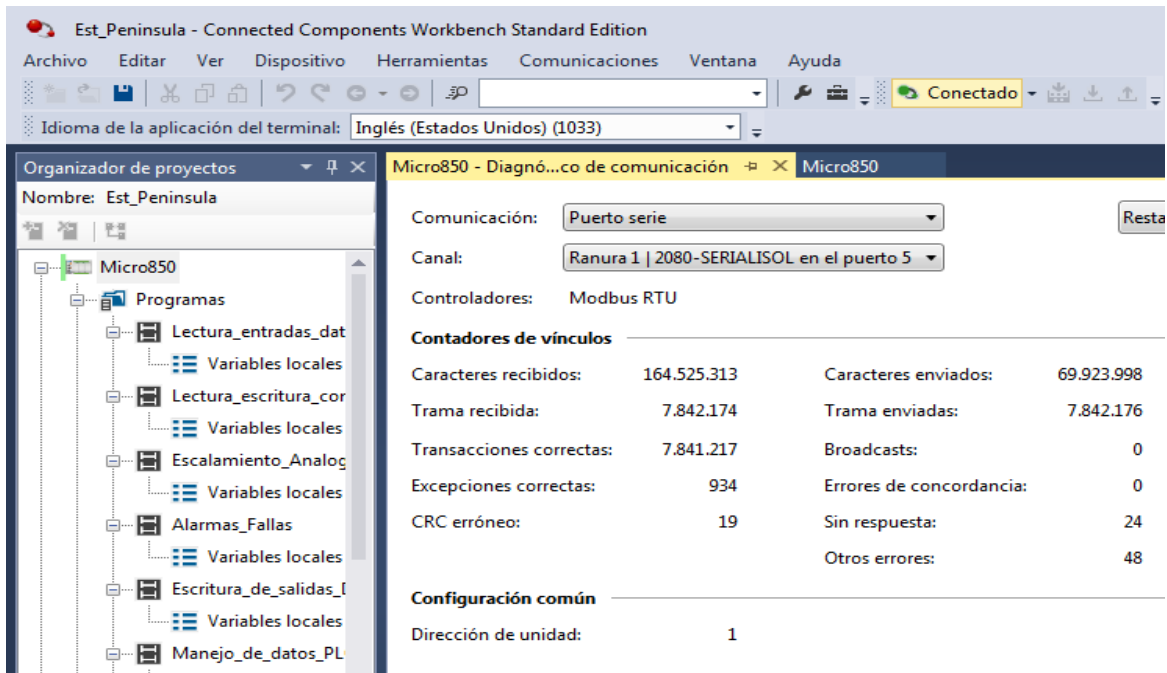


Figura 169. Diagnóstico de comunicación del puerto 5 del PLC de la estación de bombeo

En base a un análisis de las transacciones correctas y errores de comunicación se determina mediante la ecuación 7 el porcentaje de comunicaciones correctas, y mediante la ecuación 8 el porcentaje de comunicaciones perdidas como se puede ver a continuación:

Tasa de comunicaciones correctas:

$$C. \text{Correctas} = \frac{\text{Transacciones correctas} * 100\%}{\text{Tramas comunicadas}} = \frac{7,841,217 * 100\%}{7,842,174} = \mathbf{99.98\%} \quad (7)$$

Tasa de comunicaciones perdidas:

$$C. \text{Perdidas} = \frac{\text{Errores de comunicación} * 100\%}{\text{Tramas comunicadas}} = \frac{958 * 100\%}{7,842,174} = \mathbf{0.02\%} \quad (8)$$

Del resultado de estos cálculos se puede observar que la red de comunicación implementada

entre los equipos industriales de la estación es sumamente robusta dando una tasa de error de tan solo el 0.02%.

En la figura 170 se muestra el diagnóstico del canal 2 del puerto serial incorporado del PLC de la estación. En el canal 2 se encuentra establecida la comunicación entre el PLC y el nodo AVR.

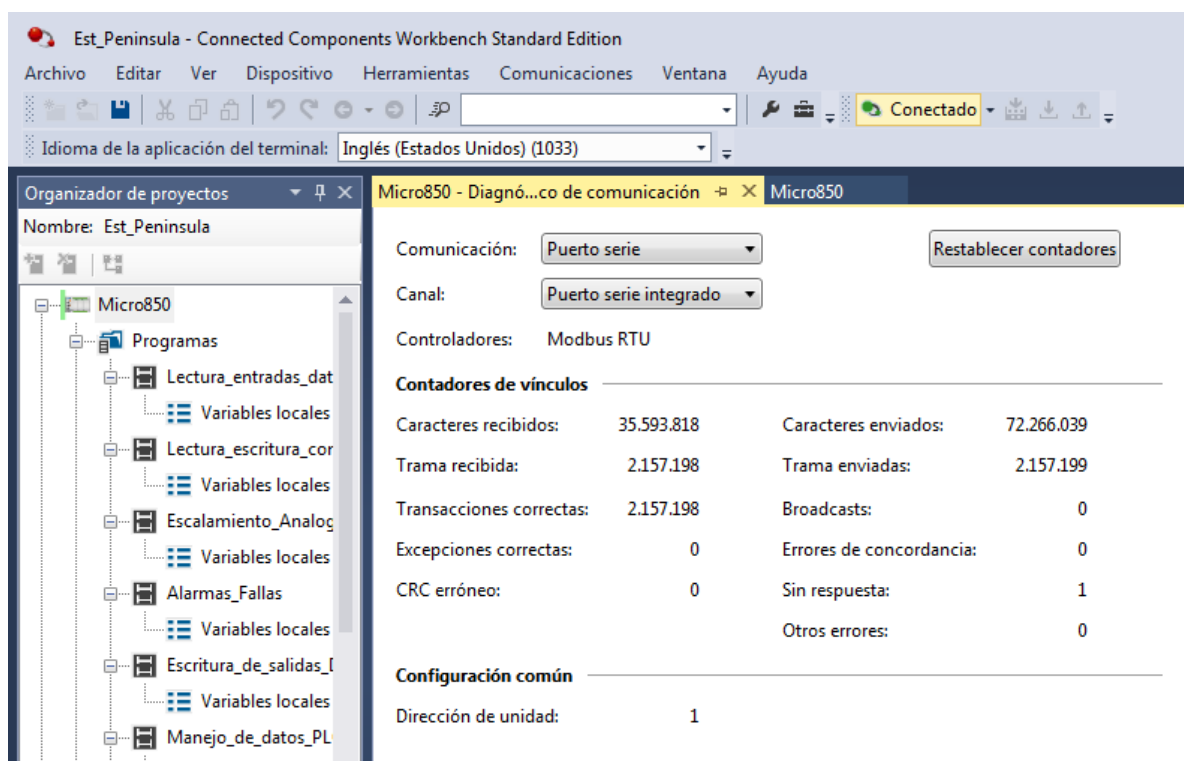


Figura 170. Diagnóstico de comunicación del puerto 2 del PLC de la estación de bombeo

En base a un análisis de las transacciones correctas y errores de comunicación se determina mediante la ecuación 9 el porcentaje de comunicaciones correctas, y mediante la ecuación 10 el porcentaje de comunicaciones perdidas como se puede ver a continuación:

Tasa de comunicaciones correctas:

$$C. \text{Correctas} = \frac{\text{Transacciones correctas} * 100\%}{\text{Tramas comunicadas}} = \frac{2,157,198 * 100\%}{2,157,199} = 99.999\% \quad (9)$$

Tasa de comunicaciones perdidas:

$$C. Perdid\grave{a}s = \frac{\text{Errores de comunicaci3n} * 100\%}{\text{Tramas comunicadas}} = \frac{1 * 100\%}{2,157,199} = 0.001\% \quad (10)$$

Del resultado de estos c3lculos se puede observar que la comunicaci3n implementada entre el PLC y la pasarela de comunicaci3n (nodo AVR) presenta un alto rendimiento de robustez y confiabilidad, con una tasa de error de tan solo el 0.001%.

4.2.2. Pruebas de la comunicaci3n inal3mbrica LORA.

El nodo AVR del tanque de almacenamiento como el de la estaci3n, poseen una salida serial para el monitoreo de las tramas enviadas, tramas recibidas y datos perdidos de la comunicaci3n inal3mbrica. La salida serial del nodo AVR se conectar a una PC mediante un conversor TTL-USB, en donde se puede visualizar los datos en la PC mediante cualquier software con monitor serial.

En la figura 171 se muestra el monitoreo del nodo AVR del tanque de almacenamiento.

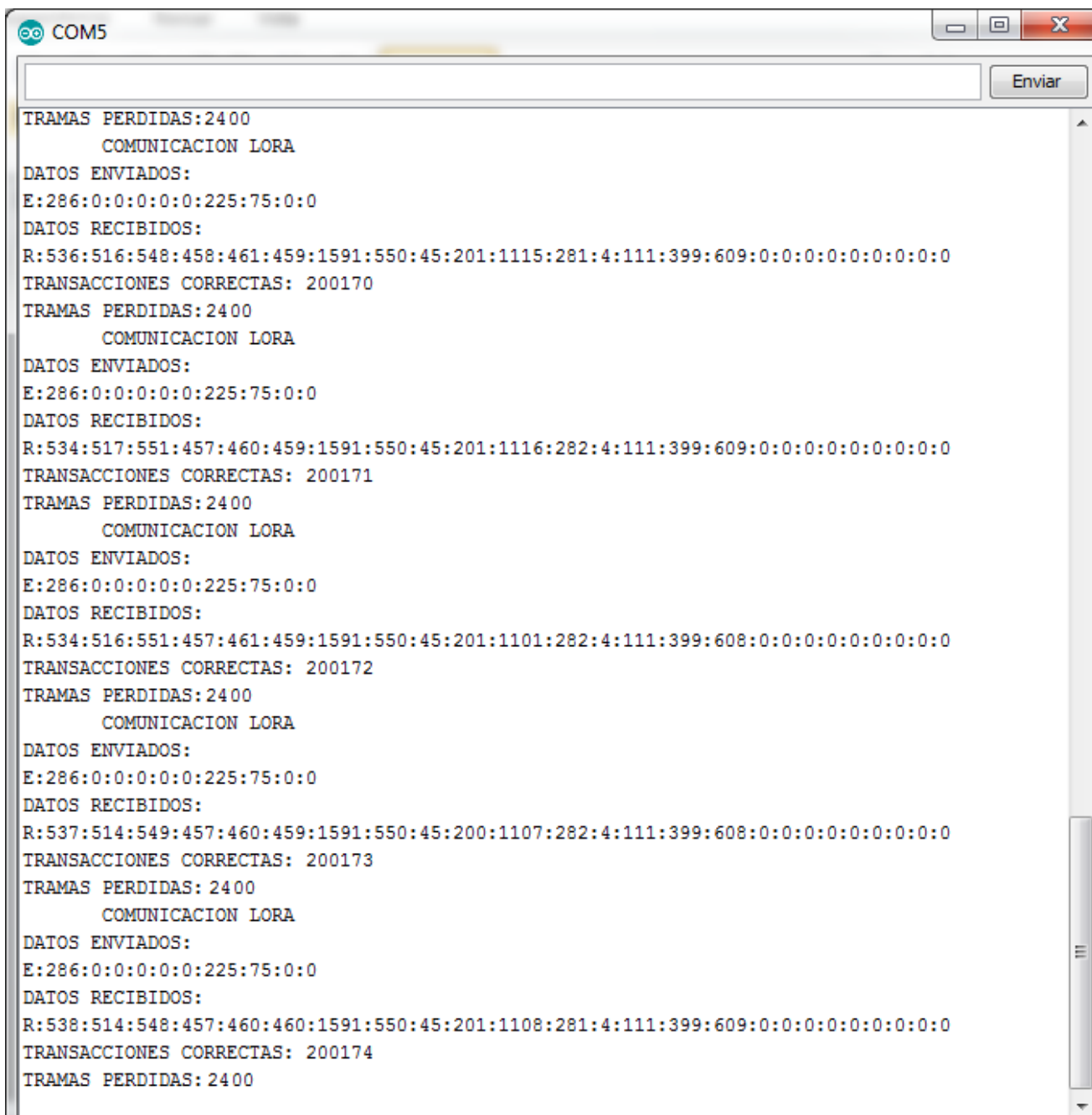


Figura 171. Diagnóstico de la comunicación inalámbrica del nodo AVR del Tanque de almacenamiento

En base a un análisis de las transacciones correctas y las tramas perdidas se determina mediante la ecuación 11 el porcentaje de comunicaciones correctas, y mediante la ecuación 12 el porcentaje de comunicaciones perdidas como se puede ver a continuación:

Tasa de comunicaciones correctas:

$$C. \text{Correctas} = \frac{\text{Transacciones correctas} * 100\%}{\text{Tramas comunicadas}} = \frac{200,174 * 100\%}{202,574} = \mathbf{98.82\%} \quad (11)$$

Tasa de comunicaciones perdidas:

$$C. \text{Perdidas} = \frac{\text{Errores de comunicación} * 100\%}{\text{Tramas comunicadas}} = \frac{2,400 * 100\%}{202,574} = \mathbf{1.18\%} \quad (12)$$

Del resultado de estos cálculos se puede observar que el enlace de la comunicación inalámbrica, aún con todas las interferencias que tiene en el trayecto, presenta un alto rendimiento de robustez y confiabilidad, con una tasa de error de tan solo el 1.18%.

En la figura 172 se muestra el monitoreo del nodo AVR de la estación de bombeo.

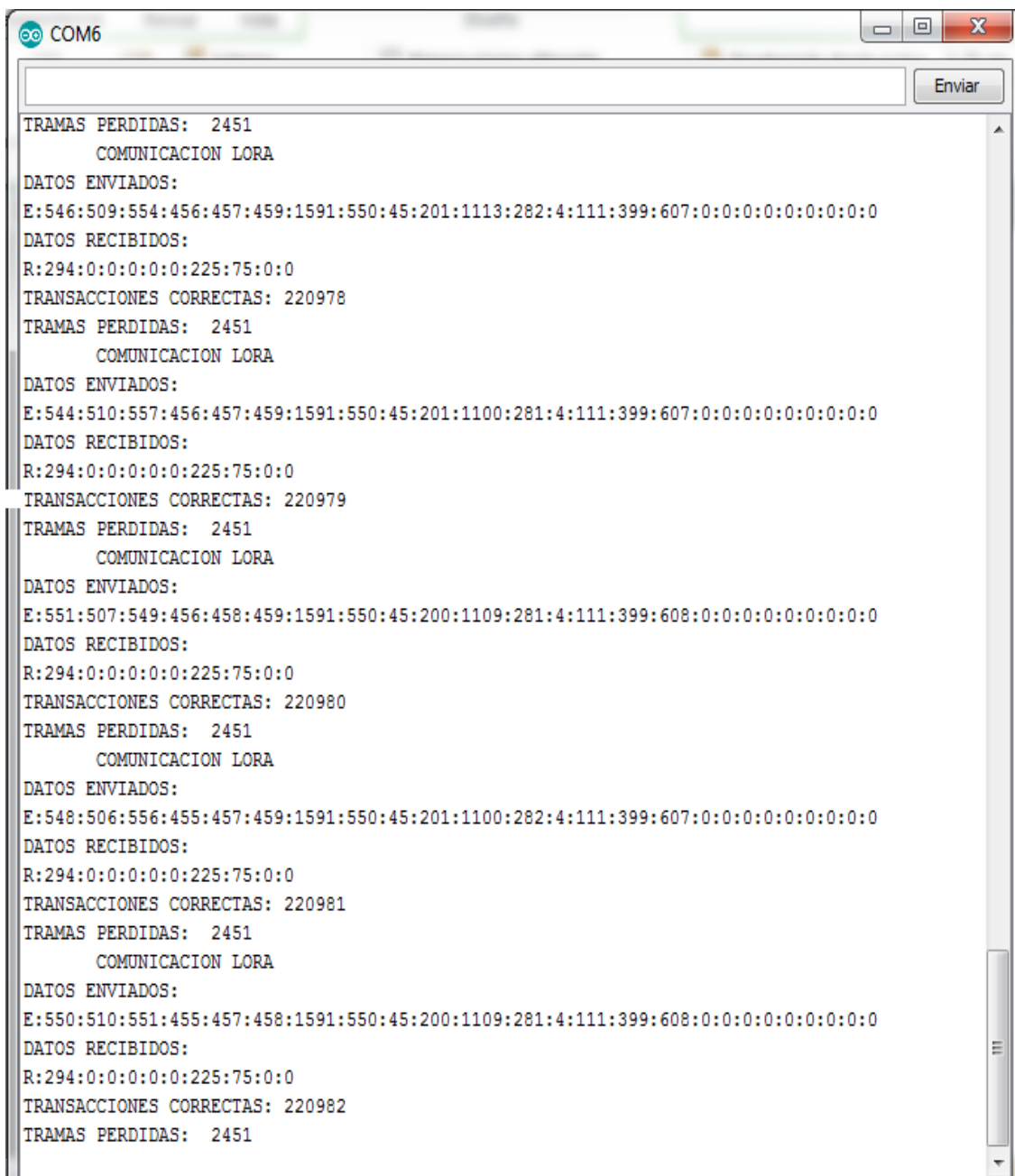


Figura 172. Diagnóstico de la comunicación inalámbrica del nodo AVR de la estación de bombeo

En base a un análisis de las transacciones correctas y las tramas perdidas se determina mediante la ecuación 13 el porcentaje de comunicaciones correctas, y mediante la ecuación 14 el porcentaje de comunicaciones perdidas como se observa a continuación:

Tasa de comunicaciones correctas:

$$C. Correctas = \frac{\text{Transacciones correctas} * 100\%}{\text{Tramas comunicadas}} = \frac{220,982 * 100\%}{223,433} = \mathbf{98.90\%} \quad (13)$$

Tasa de comunicaciones perdidas:

$$C. Perdidas = \frac{\text{Errores de comunicación} * 100\%}{\text{Tramas comunicadas}} = \frac{2,451 * 100\%}{223,433} = \mathbf{1.10\%} \quad (14)$$

Del resultado de los cálculos se puede observar que el enlace de la comunicación inalámbrica, aún con todas las interferencias que tiene en el trayecto, presenta un alto rendimiento de robustez y confiabilidad con una tasa de error de tan solo el 1.1%.

4.3. Pruebas de funcionamiento del sistema implementado.

4.3.1. Modos de Operación

El sistema ya implementado en su totalidad permite el funcionamiento de la estación desde cuatro modos de operación los cuales son: Local-Manual, Local-Automático, Remoto-Manual y Remoto-Automático mediante el bloqueo y habilitación de las pantallas dependiendo el modo de trabajo que se desee, como se muestra a continuación.

La habilitación del modo local como se lo ve en la figura 173 se lo realiza mediante un selector el mismo que habilita la pantalla de control de la estación de bombeo e inhabilita la pantalla del tanque de almacenamiento indicando en esta el modo de funcionamiento en el cual se encuentra trabajando la estación.



Figura 173. Modo de operación Local

a) Local-Manual:

Al trabajar en el modo Local-Manual como se puede observar en la figura 174 se debe ingresar la frecuencia de trabajo y se puede operar la estación.



Figura 174. Modo de operación Local-Manual

b) Local-Automático:

Al trabajar en el modo Local-Automático como se observa en la figura 175 los valores de funcionamiento del control se encuentran ya pre-seteados y para operar la estación se debe

activar la instrucción de arranque mediante el botón RUN y la estación funcionará de manera autónoma.

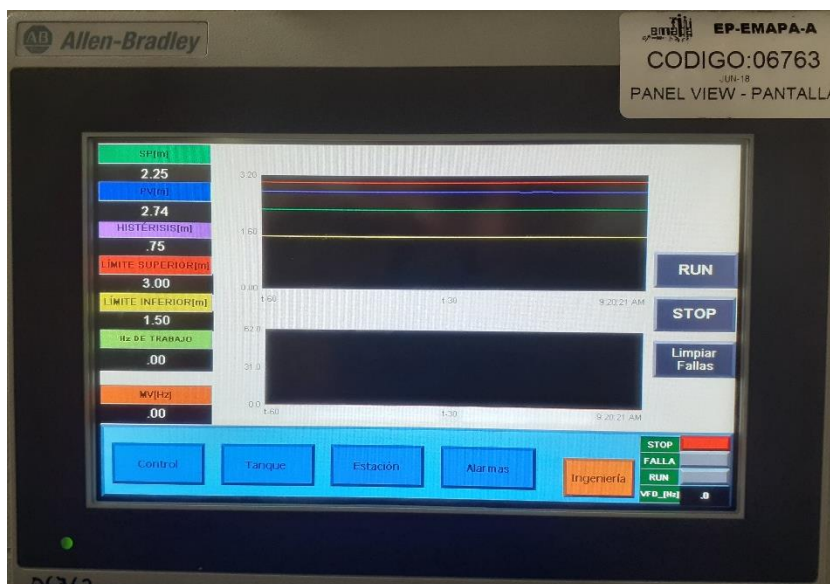


Figura 175. Modo de operación Local-Automático

La habilitación del modo remoto al igual que se lo hizo en el modo local como se lo puede apreciar en la figura 176 se lo realiza mediante un selector el mismo que habilita la pantalla de control del tanque de almacenamiento e inhabilita la pantalla de la estación de bombeo indicando en esta el modo de funcionamiento en el cual se encuentra trabajando la estación.



Figura 176. Modo de operación Remoto

c) Remoto-Manual:

Al trabajar en el modo Remoto-Manual como se puede observar en la figura 177 desde la pantalla del tanque de almacenamiento se debe ingresar la frecuencia de trabajo y se puede operar la estación.



Figura 177. Modo de operación Remoto-Manual

d) Remoto-Automático:

Al trabajar en el modo Remoto-Automático como se observa en la figura 178 los valores de funcionamiento del control se encuentran ya pre-seteados y para operar la estación desde la pantalla del tanque de almacenamiento se debe ejecutar la instrucción de arranque mediante el botón RUN y la estación funcionará de manera autónoma.

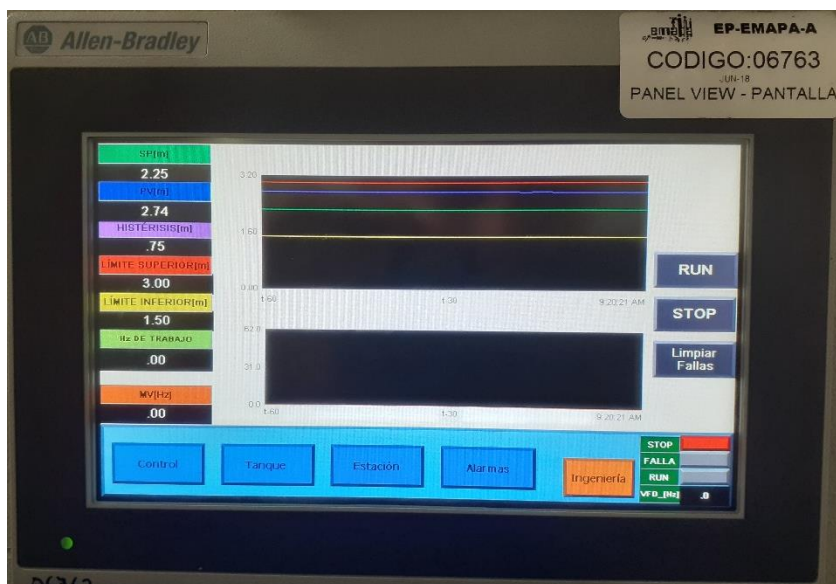


Figura 178. Modo de operación Remoto-Automático

Cabe recalcar que el monitoreo de las variables se lo realiza en tiempo real y de manera simultánea en ambas pantallas como se lo aprecia en la figura 179.

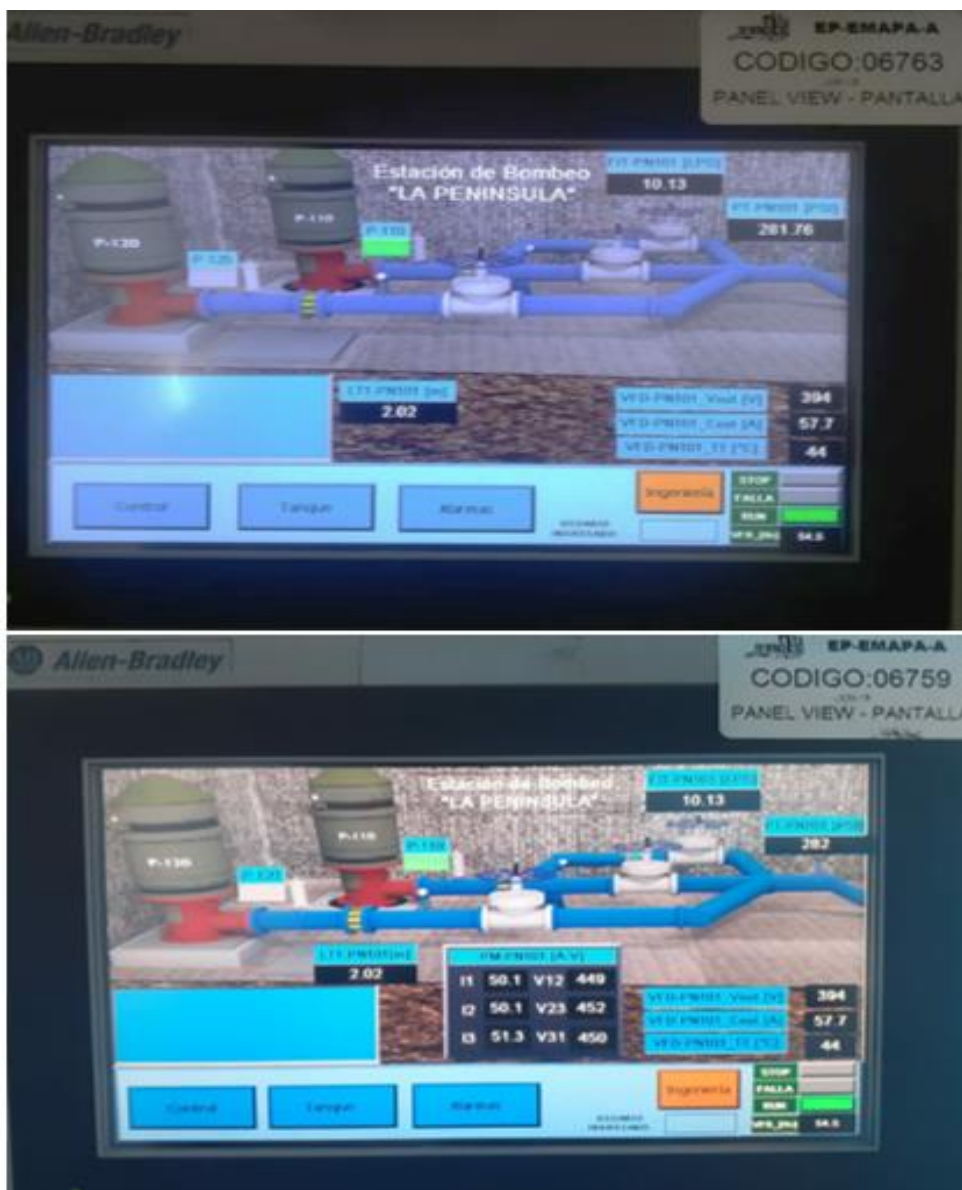


Figura 179. Monitoreo en ambas pantallas

Para mayor detalle del modo de operar la estación revisar el Manual de Usuario que se encuentra en el Anexo C.

4.3.2. Control Automático:

El lazo de control implementado en la estación es de tipo On-Off con histéresis debido al comportamiento de la estación explicado anteriormente, en la figura 180 se puede observar la gráfica de la respuesta de la estación al lazo de control utilizado.

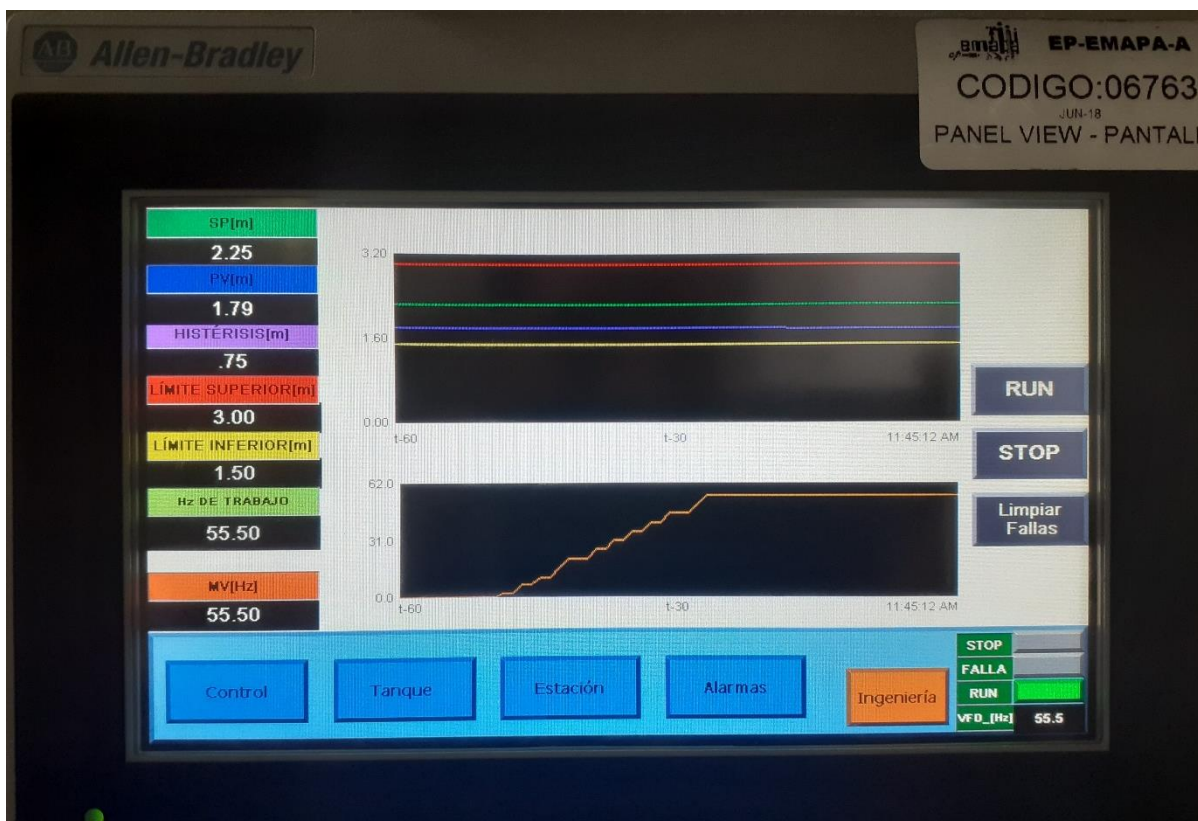


Figura 180. Respuesta de la estación al control On-Off

4.4. Validación de la hipótesis

La hipótesis planteada: “La automatización de la estación de bombeo la Península de la Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Ambato (EP-EMAPA-A) permitirá tener un mejor manejo y reducción de consumo del recurso energético e hídrico en la estación “ha sido comprobada mediante el cálculo de la potencia consumida actualmente en relación a la potencia consumida antes de la automatización y el tiempo de desborde del tanque de almacenamiento como se muestra a continuación:

En relación al consumo energético tenemos en las siguientes ecuaciones el cálculo de la potencia de trabajo de las bombas de impulsión:

$$Potencia\ de\ trabajo = Voltaje * Corriente * \cos(\alpha) \quad (15)$$

$$Potencia\ de\ trabajo = 450\ V * 50.1\ A * 0.92 = 20.741,4\ W \quad (16)$$

Antes de la automatización, a la estación de bombeo se le daba solamente una hora de descanso por lo cual trabajaba continuamente durante veinte tres horas ininterrumpidas teniendo un consumo energético que se lo puede ver en las siguientes ecuaciones:

$$Consumo\ Anterior = Potencia\ del\ motor * tiempo\ de\ trabajo \quad (17)$$

$$Consumo\ Anterior = 20.741,4\ W * 23h = 477.052,2\ Wh \cong 477.1\ kWh \quad (18)$$

Después de implementar la automatización de la estación de bombeo el trabajo de las bombas se redujo a diecinueve horas dándoles un descanso de 5 horas diarias con lo cual el consumo energético actual de la estación se ve a continuación:

$$\text{Consumo Actual} = \text{Potencia del motor} * \text{tiempo de trabajo} \quad (19)$$

$$\text{Consumo Actual} = 20.741,4 \text{ W} * 19\text{h} = 394.086,6 \text{ Wh} \cong 394.1 \text{ kWh} \quad (20)$$

Mediante el cálculo del porcentaje de consumo actual en relación al anterior se tiene el ahorro alcanzado como se ve en las siguientes ecuaciones:

$$\text{Potencia ahorrada} = \text{consumo anterior} - \text{consumo actual} \quad (21)$$

$$\text{Potencia ahorrada} = 477.1 \text{ kWh} - 394.1 \text{ kWh} = 83 \text{ kWh} \quad (22)$$

$$\text{Potencia ahorrada}[\%] = \frac{\text{potencia ahorrada} * 100\%}{\text{consumo anterior}} \quad (23)$$

$$\text{Potencia ahorrada}[\%] = \frac{83\text{kWh} * 100\%}{477.1 \text{ kWh}} = 17,39\% \quad (24)$$

Como se observa en las ecuaciones anteriores con la automatización de la estación de bombeo se tiene un ahorro del 17,39 % en el consumo energético lo cual corresponde a 83 kWh.

En relación al consumo hídrico se puede decir que el tanque de almacenamiento, antes de la automatización implementada, alcanzaba el nivel máximo y se empezaba a desbordar, esto generalmente pasaba en las noches provocando un desperdicio de agua, así como la debilitación de la estructura del tanque de almacenamiento por la constante humedad producida en dicho desborde. Actualmente con la automatización implementada se controla el nivel del tanque cortando el bombeo de la estación cuando éste alcanza el nivel máximo evitando el desperdicio del agua y así provocando un ahorro hídrico para la estación.

Alcances

- El sistema implementado permite tener un control en el llenado del tanque de almacenamiento teniendo un ahorro energético e hídrico además de alargar la vida útil de las bombas de trabajo por el tiempo de descanso que se da producto del control implementado.
- El HMI implementado permite tener cuatro modos de trabajos los cuales son Local-Manual, Local-Automático, Remoto-Manual y Remoto-Automático teniendo así un monitoreo y control de la estación ya sea desde el tanque de almacenamiento o desde la estación de bombeo.
- El sistema de comunicación implementado en la automatización además de permitir tener un monitoreo y control sobre la estación, permite tener todos los datos en un punto visible para el SCADA de la central de monitoreo y así posteriormente enlazar la información hasta dicha central.
- La comunicación inalámbrica bidireccional, entre el tanque de almacenamiento y la estación de bombeo se realiza en tiempo real demostrando la gran efectividad del sistema implementado.

Limitaciones:

- El sistema no permite tener control en la dosificación de cloro implementado en el tanque de almacenamiento, debido a circunstancias propias de la empresa.
- No se pudo realizar el enlace inalámbrico de la estación de bombeo con el SCADA de la central de monitoreo (Achestra), debido a la falta de gestión de la compra de equipos (router, antenas, drivers) que permiten el enlace a la central, por parte de la empresa.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

Se diseñó los planos eléctricos de los tableros industriales cumpliendo las especificaciones de funcionamiento técnico, normativas técnicas pertinentes y símbolos normalizados utilizados en la empresa EP-EMAPA-A, los cuales detallan todas las conexiones de las instalaciones eléctricas y electrónicas de la estación de bombeo, asegurando una correcta interpretación de los esquemas para la detección de averías para el personal de mantenimiento.

La instalación de los nuevos tableros eléctricos y tuberías eléctricas apropiadas, aseguran que todos los equipos trabajen correctamente y, también de este modo, asegurar el mayor tiempo de vida útil de los mismos. Además, se garantiza un adecuado nivel de seguridad para los operadores y personal de mantenimiento.

La comprobación del funcionamiento de los nodos AVR puestos ya en campo, demuestran la eficiencia, velocidad, robustez y confiabilidad que tienen estos dispositivos. Esto demuestra que se puede generar soluciones innovadoras de bajo costo integrando tecnologías de diferentes fabricantes aplicados a la industria, en respuesta a las necesidades de los procesos.

El levantamiento de todas las comunicaciones de la estación de bombeo permitió tener un control y monitoreo de todas las variables del proceso en tiempo real.

La implementación de un lazo de control automático permitió mantener la variable de nivel del tanque de almacenamiento en un valor de operación deseado, asegurando el abastecimiento de agua potable a la población y, además optimiza el funcionamiento adecuado de las bombas, prolongando así su tiempo de vida útil.

El diseño de las pantallas HMI contiene todos los requerimientos necesarios para el monitoreo y puesta en marcha del proceso, tanto en modo local como en modo remoto teniendo una interfaz amigable con el usuario.

La automatización implementada reduce el consumo energético de la estación de bombeo en un 17,39% lo que corresponde a 77,29KW/H diarios comprobando así la hipótesis planteada en este proyecto.

5.2. Recomendaciones

Actualmente la dosificación de cloro se la realiza en el tanque de succión de la estación, la misma que desgasta y daña los impulsores de las bombas, así como también las tuberías metálicas de agua usadas en el proceso. Para lo cual se recomienda realizar la dosificación de cloro en el tanque de almacenamiento.

Se debe realizar la elaboración de un procedimiento de mantenimiento preventivo de los equipos de la estación como: mecánicos, eléctricos y de instrumentación, donde se indiquen las labores a realizar y la periodicidad de la misma.

Se recomienda realizar la revisión de los equipos mecánicos considerando el análisis de vibraciones de motores-bombas, estado de válvulas e integridad mecánica de válvulas, bombas y tuberías.

Se debe realizar la calibración de todos los instrumentos, cada determinado tiempo, teniendo un registro de las calibraciones realizadas, para garantizar la medida real de las variables del proceso.

La estación tiene instalado un transmisor de presión de marca Autonics a la línea de descarga el cual se recomienda realizar el cambio, por un transmisor de mayor rango, debido a que el actual está mal dimensionado su rango de medida.

El cerramiento que protege la infraestructura que conforma el tanque de almacenamiento se encuentra vulnerable a robos, por lo cual se recomienda la mejora de la construcción del mismo para proteger los nuevos equipos instalados.

En el área civil se debe poner atención a las fachadas mejorando la impermeabilización de paredes y techos, como también a la reparación de ductos y drenajes, esto con el fin de proteger a los equipos eléctricos y electrónicos.

Para la mejora de la seguridad de las instalaciones se debe instalar cámaras de vigilancia en sitios estratégicos las cuales deben tener vista al SCADA de la central de monitoreo de la empresa.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 3D CAD PORTAL. (2019). *AUTOCAD*. Recuperado el 25 de Marzo de 2019, de <http://www.3dcadportal.com/autocad.html?fbclid=IwAR3SaacPgtyQ8itCpmQEGuFyN-Un3E4ceFf2pv3RcZ7JiD2NTIFAF-zkoR4>
- arduino.cc. (2019). *The open source Software IDE*. Recuperado el 19 de Febrero de 2019, de IDE: <https://www.arduino.cc/en/main/software>
- Arenas, A. F. (2009). Automatización de una planta de bombeo de aguas residuales .
- AUTONICS. (2019). *TPS20-G17P2-00*. Recuperado el 20 de Abril de 2019, de https://www.autoniconline.com/product/product&product_id=13571&search=HEAD+TYPE
- Benítez, V. (2017). *Consultoría para el Mantenimiento Eléctrico y Electrónico Estación La Península*. EMAPA. Ambato: INDUML.
- blender.org. (s.f.). *Open source 3D creation*. Obtenido de Blender, made by you.: <https://www.blender.org>
- Candelas, F. (2011). Comunicación con RS-485 y Modbus. *Grupo de Innovación Educativa en Automática Avanzada y Robótica*, 4.
- Casanova , M., Caridad, J., Pérez, P., & Gonzáles, A. (Abril de 2017). *AlfaIOT*. Recuperado el 28 de Mayo de 2019, de https://www.alfaiot.com/en_US/blog/our-blog-1/post/what-is-lora-2
- Castro, J. G., Padilla, J. J., & Romero, E. (2005). Metodología para Realizar una Automatización utilizando PLC. *Impulso, Revista de Electrónica, Eléctrica y Sistemas Computacionales*, 1(1), 18.

CDP. (27 de Febrero de 2018). *UPRS1508*. Recuperado el 22 de Abril de 2019, de https://www.cdpups.com/Content_Elements/downloads/Catalogs/36-Catalogo%20UPRS%201508%20120V%20Spa.pdf

Control Solutions. (2018). *State motor and control solutions*. Recuperado el 26 de Abril de 2019, de US Motors (Nidec), HO75S1SLG: <https://motorsandcontrol.com/us-electric-motors-ho75s1slg-75-hp-3540rpm-3ph-460v-364tp-frame-vertical-hollow-shaft-motor/>

Díaz, G., Castro, M., Mur, F., Fernández, R., Ruiz, E., Sempere, V., . . . Mayo, R. (2007). *Comunicaciones Industriales: Sistemas Distribuidos y Aplicaciones* (1 ed., Vol. 1). Madrid: Uned.

ebyte. (2017). *E32 User Manual*. Recuperado el 5 de Diciembre de 2018, de <http://www.ebyte.com/en/downpdf>.

EBYTE. (10 de 11 de 2017). *E32-433T30D User Manual*. Recuperado el 6 de Enero de 2019, de <http://www.ebyte.com/en/product-view-news.aspx?id=108>

EBYTE. (2019). *Chengdu Ebyte Electronic Technology Co. Ltd.* Recuperado el 12 de Enero de 2019, de <http://www.ebyte.com/product-view-news.aspx?id=19>

Endress and Hauser. (29 de Enero de 2018). *HAW562*. Recuperado el 21 de Junio de 2019, de <https://www.es.endress.com/es/instrumentacion-campo/componentes-sistema/proteccion-sobretensiones-haw562>

endress+hauser. (12 de Junio de 2018). *HAW560*. Recuperado el 22 de Junio de 2019, de <http://pzip.ru/downloads/endress+hauser/KA130ra6.pdf>

EQUYSIS. (11 de Agosto de 2019). *Medidor-M2000*. Recuperado el 15 de Agosto de 2019, de https://www.equysis.com/producto/medidor-electromagnetico-m2000_270

EQUYSIS. (11 de Agosto de 2019). *ModMAG*. Recuperado el 15 de Agosto de 2019, de Manual de Operación:

https://www.equysis.com/system/imagenes/pdfs/documentos/440/original/Manual_de_Operaci%C3%B3n_Medidor_Electromagn%C3%A9tico_Badger_Meter_M2000.pdf?1486520809

EQUYSIS. (11 de Agosto de 2019). *ModMAG*. Recuperado el 15 de Agosto de 2019, de Ficha técnica:

https://www.equysis.com/system/imagenes/pdfs/documentos/439/original/Ficha_Tecnica_Medidor_Electromagnetico_Badger_Meter_M2000.pdf?1486520789

Esnoz, I. (14 de Noviembre de 2017). *Teldat*. Recuperado el 15 de Enero de 2019, de Internet de las Cosas de largo alcance (LoRa): <https://www.teldat.com/blog/es/internet-de-las-cosas-de-largo-alcance-lora/>

Flores, A. (2009). *Automatización de una planta de bombeo de aguas residuales*.

GALCO. (2019). *9T58K2813*. Recuperado el 25 de Abril de 2019, de Página de Catálogo: https://www.galco.com/techdoc/gegp/9t58k2813_cp.pdf

Google Earth. (24 de Mayo de 2019). *Google Earth Pro*. Recuperado el 20 de Noviembre de 2018, de <https://www.google.com/intl/es/earth/>

Grupo IMEX. (2019). *Weidmuller*. Recuperado el 14 de Abril de 2019, de PRO ECO 120W 24V 5A: <https://www.grupoimex.com.mx/product/fuente-de-alimentacion-pro-eco-120w-24v-5a-weidmuller-1469480000/>

Guerrero, V., Yuste, R., & Martínez, L. (2009). *Comunicaciones Industriales* (Vol. 1). (1, Ed.) México, D.F.: Marcombo.

Gutiérrez, H. (2010). *Automatización Industrial: Teoría y Laboratorio*. Bogotá: udistrital.

Li, D., Cui, W., Li, Y., & Rui, Z. (2011). Research based on OSI model. *IEEE 3rd International Conference on Communication Software and Networks*, 1.

- loRaWAN. (4 de Enero de 2018). *Revolución para el Internet de las cosas (IoT)*. Recuperado el 16 de Enero de 2019, de lorawan.es: <https://lorawan.es>
- Modbus.org. (26 de Abril de 2012). *Modbus Application Protocol Specification V1.1b3*. Recuperado el 27 de Mayo de 2019, de <http://www.modbus.org>
- Modbus.org. (26 de Abril de 2013). *Modicon Modbus Protocol Reference Guide PI-MBUS-300.J*. Recuperado el 27 de Mayo de 2019, de www.modbus.org
- Pedraza Martínez, J., & Espino Godine, C. (2011). *Estudio Integral de Sistemas de Bombeo de Agua Potable Municipal*.
- Pedraza, J., & Espino, C. (2011). *Estudio Integral de Sistemas de Bombeo de Agua Potable Municipal*.
- Pittman, R. (1997). *Agua Potable para Poblaciones Rurales Sistema de Abastecimiento por Gravedad sin Tratamiento* (1 ed.). Lima: SER.
- portal.edress. (9 de Diciembre de 2012). *HAW561/561K*. Recuperado el 21 de Junio de 2019, de <https://portal.edress.com/wa001/dla/5000557/7416/000/00/Ka129rf3.pdf>
- RobotDyn. (12 de Mayo de 2017). *CH340G/ATmega2560*. Recuperado el 3 de Febrero de 2019, de <https://robotdyn.com/pub/media/0G-00005641==MEGA-PRO-CH340GATmega2560/DOCS/DIM==0G-00005641==MEGA-PRO-CH340GATmega2560.pdf>
- Rockwell Automation. (Marzo de 2018). *Terminales HMI PanelView 800*. Obtenido de Manual del Usuario.
- Rockwell Automation. (2019). *Desig and Configuration Software*. Recuperado el 19 de Marzo de 2019, de [Connected Components Workbench: https://www.rockwellautomation.com/es_ES/capabilities/industrial-automation-](https://www.rockwellautomation.com/es_ES/capabilities/industrial-automation-)

control/overview.page?pagetitle=Design-and-Configuration-Software&docid=6b8425507e679dd6b2587d385b7b26e1

Rockwell, A. (Septiembre de 2010). *Módulo enchufable puerto serie aislado RS232/485 Micro800*. Recuperado el 15 de Marzo de 2019, de Número de catálogo 2080-SERIALISOL:

https://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/wd/2080-wd002_-es-p.pdf

Rockwell, A. (Septiembre de 2012). *Controladores programables de 24 puntos Micro850*. Recuperado el 15 de Marzo de 2019, de Números de catálogo 2080-LC50-24QWB:

https://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/in/2080-in007_-es-p.pdf

Rockwell, A. (Noviembre de 2013). *Controlador lógico programable Micro850*. Recuperado el 16 de Marzo de 2019, de Descripción del producto-Boletines 2080 y2085:

https://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/pp/2080-pp003_-es-p.pdf

Rockwell, A. (Noviembre de 2016). *Micro800 4-channel and 8-channel Analog*. Recuperado el 18 de Marzo de 2019, de Catalog Numbers 2085-IF4:

https://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/in/2085-in006_-en-p.pdf

Rodriguez, A. (2008). *Comunicaciones Industriales*. Barcelona: Marcombo.

Rodríguez, A. (2013). *Sistemas SCADA* (3 ed.). México, D.F.: Marcombo.

Sabar, U. (2005). *Guía para el Diseño de Estaciones de Bombeo de Agua Potable* (1 ed.). Lima: OPS-CEPIS.

- Sabas, B. (25 de Septiembre de 2017). *Haciendo IOT con LoRa: Capítulo 1*. Recuperado el 18 de Enero de 2019, de Medium.com: <https://medium.com/beelan/haciendo-iot-con-lora-capitulo-1-qué-es-lora-y-lorawan-8c08d44208e8>
- Schneider, E. (Mayo de 2018). *Altivar Process Variadores de velocidad ATV6300*. Recuperado el 12 de Junio de 2019, de Manual de programación: <https://www.se.com/es/es/product/ATV630D75N4/variador-de-velocidad-atv630-75kw-100hp-380...480v-ip21-ul-tipo-1/>
- Schneider , E. (2016). *Magnecraft General Purpose Relays*. Recuperado el 12 de Junio de 2019, de 750 Series: http://www.farnell.com/datasheets/1856140.pdf?_ga=2.7285499.896226119.1566165870-397065441.1566165870
- Schneider , E. (2017). *Product datasheet Characteristics*. Recuperado el 7 de Junio de 2019, de LV525333: <https://www.schneider-electric.com/en/product/LV525333/circuit-breaker-easypact-cvs250f%2C-36-ka-at-415-vac%2C-250-a-rating-thermal-magnetic-tm-d-trip-unit%2C-3p-3d/>
- Schneider , E. (marzo de 2019). *PowerLogic PM5500 Serie*. Recuperado el 27 de Abril de 2019, de Manual de usuario HRB1684303-06: https://download.schneider-electric.com/files?p_enDocType=User+guide&p_File_Name=HRB1684303-06-ES.pdf&p_Doc_Ref=HRB1684303
- Schneider Electric. (Noviembre de 2014). *Altivar Process ATV600*. Recuperado el 29 de Mayo de 2019, de <https://www.se.com/es/es/product/ATV630D75N4/variador-de-velocidad-atv630-75kw-100hp-380...480v-ip21-ul-tipo-1/>
- SENIX. (31 de Mayo de 2015). *ToughSonic® Series*. Recuperado el 18 de Abril de 2019, de Installation and Operating Instructions: <https://senix.com/wp-content/uploads/2015/06/ToughSonic-Sensors-Manual.pdf>

- SENIX. (2018). *Sensores ultrasónicos Tough Sonic*. Recuperado el 19 de Abril de 2019, de <https://senix.com/>
- SENIX. (Febrero de 2019). *software de configuración del sensor senixview*. Recuperado el 18 de Abril de 2019, de <https://www.senix.com/technical-support/ultrasonic-sensor-technology/senixview-sensor-setup-software/>
- Stallings, W. (2004). *Comunicaciones y Redes de Computadores* (6 ed.). Madrid: Prentice Hall.
- Tolosa, G. (2014). Protocolos y Modelos OSI. *unlu.edu.ar*, 1, 13.
- Ulpiano Tapia, J. (2008). *Sistema de Comunicación Inalámbrica y visualización de datos entre el Tanque y la Estación de Bombeo San Francisco – EMAPA*.
- Van Rhyen, P., & Harm Pretorius, J. (2017). *Increasing Water Pump Station Throughput by Introducing VFD-based IE4 Class Synchronous Reluctance Motors with Improved Pump Control*.
- Weehuizen, F., & Zoitl, A. (2007). Using the CIP Protocol with IEC 61499 Communication Function Blocks. *5th IEEE International Conference on Industrial Informatics*, 262-263.

ANEXOS



DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

CARRERA DE INGENIERÍA DE ELECTRÓNICA E INSTRUMENTACIÓN

CERTIFICACIÓN

Se certifica que el presente trabajo de titulación fue desarrollado por los señores: **BALSECA RUIZ, JHON ALEX** y **CASTRO MEDINA, BRYAN JAVIER**.

En la ciudad de Latacunga, a los 11 días del mes de noviembre del 2019.

Aprobado por:

ING. GALO RAÚL, ÁVILA ROSERO
DIRECTOR DEL PROYECTO

ING. AMPARO MEYTHALER NARANJO
DIRECTORA DE LA CARRERA



DR. JAIME RODRIGO VACA CORRALES
SECRETARIO ACADÉMICO