



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Diseño e implementación del módulo para la medición y registro de caudales y niveles en los tanques de presión de las centrales Illuchi 1 e Illuchi 2 a ser integrado al sistema Scada de Elepco S.A.

Ortega Izquiero, Esteban Alejandro y Tigselema Benavides, Adriana Estefanía

Departamento de Eléctrica y Electrónica

Carrera de Ingeniería Electrónica e Instrumentación

Trabajo de titulación, previo a la obtención del título de Ingeniero en Electrónica e Instrumentación

Ing. Trávez Pillo, Wilson Oswaldo

28 de agosto del 2020



DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA E INSTRUMENTACIÓN

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, **“Diseño e implementación del módulo para la medición y registro de caudales y niveles en los tanques de presión de las centrales Illuchi 1 e illuchi 2 a ser integrado al sistema Scada de Elepco S.A.”**, fue realizado por el señor **Ortega Izquiero, Esteban Alejandro**; y la señorita **Tigselema Benavides, Adriana Estefanía**, el cual ha sido revisado y analizado en su totalidad por la herramienta de verificación de similitud de contenido, por lo tanto cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Latacunga, 28 agosto de 2020

Firma:

**WILSON OSWALDO
TRAVEZ PILLO**

Firmado digitalmente por
WILSON OSWALDO TRAVEZ
PILLO
Fecha: 2020.08.28 21:43:02
-05'00'

Ing. Trávez Pillo, Wilson Oswaldo




C.C.: 0502303662



Document Information

Analyzed document Tesis Adriana-Esteban revision final.docx (D78304947)
Submitted 8/28/2020 4:22:00 PM
Submitted by Travez Pillo Wilson Oswaldo
Submitter email wotravez@espe.edu.ec
Similarity 5%
Analysis address wotravez.espe@analysis.arkund.com

Sources included in the report

SA	Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE / T_ESPEL_Castro_Balseca_FINAL.pdf Document T_ESPEL_Castro_Balseca_FINAL.pdf (D59125659) Submitted by: gravila@espe.edu.ec Receiver: gravila.espe@analysis.arkund.com	 16
W	URL: https://docplayer.es/93449074-Departamento-de-electrica-y-electronica.html Fetched: 1/9/2020 5:51:37 PM	 13
W	URL: https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/3676/1/T-ESPEL-0424.pdf Fetched: 7/22/2020 7:28:21 PM	 1

Firma:

WILSON OSWALDO
TRAVEZ PILLO

Firmado digitalmente por WILSON
 OSWALDO TRAVEZ PILLO
 Fecha: 2020.08.28 21:51:30 -05'00'

.....
Trávez Pillo, Wilson Oswaldo
DIRECTOR



DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA E INSTRUMENTACIÓN

RESPONSABILIDAD DE AUTORÍA

Nosotros, **Ortega Izquiero, Esteban Alejandro** con cédula de identidad N° 010643195-0 y **Tigselema Benavides, Adriana Estefanía**, con cédula de identidad N°050418127-2, declaramos que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación **“Diseño e implementación del módulo para la medición y registro de caudales y niveles en los tanques de presión de las centrales Illuchi 1 e Illuchi 2 a ser integrado al sistema Scada de Elepco S.A.”**, es de nuestra autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos, y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Latacunga, agosto de 28 de 2020

Firma:

Ortega Izquiero, Esteban Alejandro

C.I.: 010643195-0

Tigselema Benavides, Adriana Estefanía

C.I.: 050418127-2



DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA E INSTRUMENTACIÓN

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN

Nosotros, **Ortega Izquiero, Esteban Alejandro** con cédula de identidad N° 010643195-0 y **Tigselema Benavides, Adriana Estefanía**, con cédula de identidad N°050418127-2, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación **“Diseño e implementación del módulo para la medición y registro de caudales y niveles en los tanques de presión de las centrales Illuchi 1 e Illuchi 2 a ser integrado al sistema Scada de Elepco S.A.”** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra responsabilidad.

Latacunga, 28 de agosto de 2020

Firma:

Ortega Izquiero, Esteban Alejandro

C.I.: 010643195-0

Tigselema Benavides, Adriana Estefanía

C.I.: 050418127-2

DEDICATORIA

Este trabajo final de mis estudios universitarios lo dedico a mis hermanos Andres y Samantha con los que he vivido y compartido muchas experiencias , a mi madre Monica Izquierdo por su constante apoyo y su arduo trabajo me supo dar lo que necesitaba , a mi padre Ivan Ortega que me supo guiar en valores , principios y en lo Espiritual que considero que es lo mas importante, a todos mis tios que de una y otra manera me apoyaron para poder concluir esta carrera, a mi enamorada Josseline Calvopiña que me acompaño y ayudado en muchos aspectos.

Esteban Alejandro Ortega Izquierdo

DEDICATORIA

"Mira que te mando que te esfuerces y seas valiente; no temas ni desmayes, porque Jehová tu Dios estará contigo en dondequiera que vayas." (Josue 1:9)

Dedico mi tesis en primer lugar a mi PAPIITO DIOS porque es lo más importante en mi vida y el pilar fundamental de mi existencia, quien con su amor me ha sostenido en todo momento. A mi abuelito Gonzalito por su infinito e incomparable amor, por sus sabios consejos y su presencia constante en cada paso de mi vida. A mi mamita Adriana por ser la mejor mama del mundo por creer en mí, por apoyarme incondicionalmente y ser mi más grande fortaleza con su amor y dedicación cada minuto de mi vida. A mi papito Armando por ser el mejor papa del mundo por ser el más cariñoso y preocupado, porque con su amor y disciplina me ha enseñado a ser perseverante en todo lo que me proponga en la vida, y jamas dejar que me rinda. A mis hermanos Xavier y Tannia por ser mis mejores amigos, mis confidentes, mis dos más grandes ejemplos en la vida. A mis sobrinos Danni, Dito, Jose, Maty y Niki porque con sus sonrisas llenan mi corazón de amor.

Adriana Estefania Tigselema Benavides

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios como primer lugar , por darme la vida y haberme guiado hasta este punto de mi vida, a mis padres que dieron todo de ellos para apoyarme y concluir esta etapa universitaria, he aprendido mucho de ellos. A nuestro Tutor Ing. Wilson Trávez por su ayuda y colaboracion para la culminacion de este trabajo.

Al ingeniero Santiago Mena por su disposicion y ayuda que brindo en este proyecto , a mi companera de Tesis Adriana Tigselema por su tiempo y dedicacion.

Esteban Alejandro Ortega izquierdo

AGRADECIMIENTO

Agradezco en primero lugar a Dios porque en cada paso de mi vida esta presente, porque sé que sin el no soy nadie y todos mis logros y victorias son gracias a el, por ser esa luz maravillosa en medio de la obscuridad. Jamas me cansare de agradecerte papito dios por la maravillosa familia que me diste.

A mi abuelito por ser el mejor abuelito del mundo, su apoyo fue fundamental desde el inicio de mí carrera hasta el final, por creer en mí, por sus oraciones y su infinito amor.

A mi madre Adriana y mi padre Armando por sacrificarse para que jamas me falte nada, poniendo mis necesidades por encima de las suyas, por estar junto a mí y apoyarme incondicionalmente en todo, por el amor, cariño, palabras de aliento que me han dado toda la vida. Han sido el equilibrio perfecto en mi vida porque con amor y disciplina han formado tres hijos rectos, con valores y principios, todos los días le doy gracias a DIOS por darme unos padres tan maravillosos, me esforzare cada día de mi vida para que siempre se sientan orgullosos de mi

A mí tía Iralda por apoyarme siempre que busque su ayuda y por enseñarme el incomparable amor de DIOS. A mi compañero de tesis Esteban Ortega por su amistad sincera, al Ingeniero Wilson Travez por compartir con nosotros sus valiosos conocimientos y guiarnos a la culminación de la tesis, Al ingeniero Santiago mena por su colaboración y contingente.

Adriana Estefania Tigselema Benavides

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CARÁTULA	1
CERTIFICACIÓN	2
REPORTE DEL URKUND.....	3
RESPONSABILIDAD DE AUTORÍA	4
AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN	5
DEDICATORIA	6
DEDICATORIA	7
AGRADECIMIENTO	8
AGRADECIMIENTO	9
ÍNDICE DE CONTENIDOS	10
ÍNDICE DE FIGURAS	15
ÍNDICE DE TABLAS.....	21
ÍNDICE DE ECUACIONES.....	23
RESUMEN	24
ABSTRACT.....	25
CAPÍTULO I	26
1. INTRODUCCIÓN.....	26
1.1. Planteamiento del problema.....	26
1.2. Antecedentes	27
1.3. Justificación e Importancia.....	29
1.4. Objetivos	30

	11
1.4.1. Objetivo General	30
1.4.2. Objetivos Específicos	30
1.5. Variables de Investigación	31
1.5.1. Variable Independiente	31
1.5.2. Variable Dependiente	31
1.6. Hipótesis	31
CAPÍTULO II	32
2. MARCO TEÓRICO.....	32
2.1. Fundamentación Teórica.....	32
2.1.1. Centrales de generación hidroeléctrica.....	32
2.1.2. Central de Generación Eléctrica Illuchi N°1	33
2.2. Central de Generación Eléctrica Illuchi N°2.....	36
2.3. Medición de nivel	40
2.4. Medición de caudal	44
2.5. Uso del recurso hídrico	48
2.5.1. Eficiencia del uso del Recurso Hídrico	49
2.6. Turbinas hidráulicas	49
2.6.1. Turbina tipo Pelton.....	50
2.6.2. Potencia y eficiencia de las turbinas Pelton	51
2.7. Cálculos	51
2.7.1. Potencia mecánica	51
2.7.2. Potencia hidráulica	52
2.8. Sistemas de comunicación	53

	12
2.8.1. Medios Guiados	54
2.8.2. Medios no Guiados	55
2.8.3. Ondas de Radio	55
2.8.4. Microondas	56
2.8.5. Sistemas infrarrojos.....	57
2.8.6. Laser	57
2.8.7. Satelital	58
2.9. Dispositivos de instrumentación, control y registro	59
2.9.1. PLC	60
2.9.2. RTU.....	60
2.9.3. Registradores	61
2.9.4. SCADA	63
2.9.5. Características generales del SCADA/OMS-MWM/DMS Nacional	64
CAPÍTULO III	66
3. PROPUESTA	66
3.1. Selección de los equipos	66
3.1.1. Requerimientos del equipo de medición	66
3.1.2. Selección del equipo de medición	67
3.1.3 Requerimientos del equipo de comunicación	70
3.1.4. Selección del equipo de comunicación.....	70
3.1.5. Requerimientos de los equipos de control y registro de datos	76
3.1.6. Selección de los equipos de control y registro de datos.....	77
3.2. Elaboración de los planos eléctricos de los gabinetes industriales	78

	13
3.3. Conexión de las instalaciones eléctricas y electrónicas	78
3.3.1. Conexión de las instalaciones eléctricas y electrónicas en la central de generación Illuchi 1.	79
3.3.2. Programación del PLC.....	83
3.3.3. Conexión de las instalaciones eléctricas y electrónicas en el tanque de presión 1	90
3.3.4. Programación del PLC.....	92
3.4. Diseño y construcción del enlace inalámbrico	94
3.4.1. Análisis de los enlaces	98
3.4.2. Instalación del enlace inalámbrico entre tanque de presión 1 y la central de generación Illuchi 1 y enlace inalámbrico entre tanque de presión 2 y la central de generación Illuchi 2	111
3.4.3. Instalación del enlace inalámbrico entre el gabinete de medición de caudal al tablero de adquisición de datos	119
3.5. Diseño e implementación de las interfaces de visualización en el Sistema SCADA/OMS-MWM/DMS con las normas específicas.	124
CAPÍTULO IV	137
4. PRUEBAS Y RESULTADOS	137
4.1. Instalación eléctrica y electrónica de la instrumentación	137
4.2 Validación de las comunicaciones	141
4.3. Validación de la hipótesis.....	146
CAPÍTULO V	147
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	147

	14
5.1. Conclusiones	147
5.2. Recomendaciones	149
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	150
ANEXOS	157

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	<i>Esquema de una central hidroeléctrica</i>	32
Figura 2	<i>Tanque de presión de la Central Illuchi 1</i>	34
Figura 3	<i>Tubería Central Illuchi 1</i>	34
Figura 4	<i>Casa de máquinas de la Central Illuchi 1</i>	35
Figura 5	<i>Subestación de la Central Illuchi 1</i>	35
Figura 6	<i>Tanque de presión de la Central Illuchi 2</i>	36
Figura 7	<i>Tubería Central Illuchi 2</i>	37
Figura 8	<i>Casa de máquinas de la Central Illuchi 2</i>	37
Figura 9	<i>Subestación de la central Illuchi 2</i>	38
Figura 10	<i>Esquema de conducción de agua para central Illuchi 1 y 2</i>	39
Figura 11	<i>Medidor de sonda</i>	41
Figura 12	<i>Medidor tipo flotador conexión directa</i>	41
Figura 13	<i>Medidor tipo flotador conexión magnética</i>	42
Figura 14	<i>Medidor por ultrasonido</i>	43
Figura 15	<i>Medidor de radar</i>	43
Figura 16	<i>Vertedero</i>	45
Figura 17	<i>Vertedero triangular</i>	45
Figura 18	<i>Vertedero rectangular con dos contracciones</i>	46
Figura 19	<i>Vertedero rectangular sin contracciones</i>	47
Figura 20	<i>Vertedero trapezoidal</i>	47
Figura 21	<i>Vertedero circular</i>	48

Figura 22	<i>Diagrama de la distribución de los inyectores en una Turbina Pelton</i>	50
Figura 23	<i>Diagrama simplificado de bloques de un sistema de comunicaciones electrónicas</i>	54
Figura 24	<i>Símbolo de la antena de metal aislado en blanco</i>	55
Figura 25	<i>Estaciones de microondas</i>	56
Figura 26	<i>Comunicaciones por infrarrojo</i>	57
Figura 27	<i>Laser</i>	58
Figura 28	<i>Satélite</i>	58
Figura 29	<i>PLC</i>	60
Figura 30	<i>RTU</i>	61
Figura 31	<i>Diagrama de bloques de un registrador</i>	62
Figura 32	<i>Registrador</i>	62
Figura 33	<i>Sensor ultrasónico holykell</i>	68
Figura 34	<i>Funcionamiento del sensor Ultrasónico Holykell</i>	68
Figura 35	<i>Sensor ultrasónico PEPPERL+FUCHS</i>	69
Figura 36	<i>Mikrotik RouterBOARD Groove 5Hn</i>	71
Figura 37	<i>Interface de configuración Mikrotik</i>	71
Figura 38	<i>Antena y Radio Mikrotik</i>	72
Figura 39	<i>Friendcom, "RF FC201/SP datasheet"</i>	73
Figura 40	<i>Interface de configuración FC201S</i>	73
Figura 41	<i>Diagrama esquemático de la aplicación del módulo de transmisión de datos inalámbrico FC-201/SP</i>	74
Figura 42	<i>Convertor de Ethernet a serie</i>	75

	17
Figura 43	<i>Puertos del conversor de Ethernet a serie</i> 75
Figura 44	<i>Interfaz de configuración del conversor de Ethernet a serie</i> 76
Figura 45	<i>PLC Twido-twdlmda20dtk</i> 77
Figura 46	<i>Canales a la salida de la central de generación 1</i> 79
Figura 47	<i>Diseños de los soporte</i> 79
Figura 48	<i>Diseño de los protectores de los sensores</i> 80
Figura 49	<i>Protectores de los sensores</i> 80
Figura 50	<i>Diseño soporte del gabinete</i> 80
Figura 51	<i>Soporte del gabinete</i> 81
Figura 52	<i>Excavación para colocar el soporte del gabinete</i> 81
Figura 53	<i>Excavación para pasar energía al gabinete</i> 81
Figura 54	<i>Paso de los cables de energía por la manguera</i> 82
Figura 55	<i>Conexión del sensor de nivel</i> 82
Figura 56	<i>Gabinete</i> 83
Figura 57	<i>Bases de twido Suite</i> 84
Figura 58	<i>Módulo Analógico TWDAM2HT</i> 85
Figura 59	<i>Configuración del módulo analógico</i> 85
Figura 60	<i>Lectura de los sensores.</i> 86
Figura 61	<i>Medida del nivel de agua</i> 86
Figura 62	<i>Implementación de Registro FIFO 1</i> 87
Figura 63	<i>Implementación del Registro FIFO2</i> 88
Figura 64	<i>Configuración TIMER1</i> 88
Figura 65	<i>Configuración Timer 2</i> 88

	18
Figura 66	<i>Implementación Contador</i> 89
Figura 67	<i>Programación suma acumulada</i> 89
Figura 68	<i>Programación de la señal filtrada.</i> 90
Figura 69	<i>Tanque de presión 1</i> 91
Figura 70	<i>Colocación sensor en el tanque de presión 1</i> 91
Figura 71	<i>Gabinete colocado en el tanque de presión 1</i> 92
Figura 72	<i>Bases de twido Suite</i> 93
Figura 73	<i>Módulo Analógico TWDAM2HT</i> 93
Figura 74	<i>Enlace 1</i> 95
Figura 75	<i>Perfil topográfico del Enlace 1</i> 95
Figura 76	<i>Enlace 2</i> 96
Figura 77	<i>Perfil topográfico del Enlace 2</i> 96
Figura 78	<i>Enlace 3</i> 97
Figura 79	<i>Perfil topográfico del Enlace 3</i> 97
Figura 80	<i>Análisis del enlace 1</i> 102
Figura 81	<i>Análisis del enlace 2</i> 106
Figura 82	<i>Análisis del enlace 3</i> 111
Figura 83	<i>Configuración de MODBUS</i> 111
Figura 84	<i>Declaración de MOSBUS</i> 112
Figura 85	<i>Configuración de parámetros de comunicación</i> 112
Figura 86	<i>Configuración de parámetros del conversor USR-TCP232-410S</i> 113
Figura 87	<i>Interface de configuración Radio Groove</i> 113
Figura 88	<i>Cambio de dirección IP.</i> 114

Figura 89	<i>Configuración de Radio modo puente.</i>	115
Figura 90	<i>Colocación antena central de generación Illuchi 1</i>	116
Figura 91	<i>Colocación antena central de generación Illuchi 2</i>	116
Figura 92	<i>Colocación de antena tanque 1</i>	117
Figura 93	<i>Colocación de antena tanque 2</i>	118
Figura 94	<i>Colocación de repetidor</i>	118
Figura 95	<i>Configuración de MODBUS.</i>	119
Figura 96	<i>Declaración de MOSBUS.</i>	119
Figura 97	<i>Configuración de la Red1.</i>	120
Figura 98	<i>Configuración del módulo RF FC-201/SP</i>	120
Figura 99	<i>Conexión PLC-DB9-RADIO.</i>	121
Figura 100	<i>Diseño de la placa</i>	122
Figura 101	<i>Construcción y montaje de la placa</i>	123
Figura 102.	<i>Diseño de la caja de la placa</i>	124
Figura 103	<i>Caja de la placa</i>	124
Figura 104	<i>Programa OASyS DNA</i>	126
Figura 105	<i>Pantalla de inicio ADE</i>	126
Figura 106	<i>Pantalla de ingreso de señales ADE</i>	127
Figura 107	<i>Configuración de la señal de nivel del tanque 1</i>	128
Figura 108	<i>Configuración de señal del tanque 1</i>	128
Figura 109	<i>Configuración de la señal de caudal del canal 1</i>	129
Figura 110	<i>Configuración de señal en el canal 1</i>	129
Figura 111	<i>Configuración de la señal de caudal del canal 2</i>	130

Figura 112	<i>Configuración de señal en el canal 2</i>	130
Figura 113	<i>Interfaz gráfica del tanque 1-Central de generación illuchi 1</i>	131
Figura 114	<i>Interfaz gráfica del tanque 1-Central de generación Illuchi 1</i>	131
Figura 115	<i>Pantalla de ingreso de señales</i>	132
Figura 116	<i>Pantalla de ingreso de señales</i>	132
Figura 117	<i>Pantalla de ingreso de señales</i>	133
Figura 118	<i>Ecuación de conversión de nivel a caudal</i>	133
Figura 119	<i>Interfaz gráfica del tanque 2</i>	134
Figura 120	<i>Interfaz gráfica del tanque 2-Central de generación Illuchi 2</i>	134
Figura 121	<i>Diseño, elementos de la central de generación Illuchi 1</i>	137
Figura 122	<i>Gabinete montado en la central de generación Illuchi 1</i>	138
Figura 123	<i>Diseño, elementos tanque de presión 1</i>	140
Figura 124	<i>Gabinete montado en el tanque de presión 1</i>	140
Figura 125	<i>Estado del enlace</i>	141
Figura 126	<i>Pantalla configuración de Radio groove</i>	142
Figura 127	<i>Intensidad de la señal Transmisión y Recepción</i>	142
Figura 128	<i>Señales en ModbusTester</i>	143
Figura 129	<i>Pantalla de inicio Monitoring and deagnostic tool</i>	143
Figura 130	<i>Conexión de las señales en RTU</i>	144
Figura 131	<i>Valor de las señales en RTU</i>	144
Figura 132	<i>Medición de caudal en el SCADA</i>	145
Figura 133	<i>Medición de nivel en el SCADA</i>	145

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	<i>Rangos de caudales para turbina Pelton</i>	51
Tabla 2	<i>Características del sensor Ultrasónico Holykell</i>	68
Tabla 3	<i>Características sensor ultrasónico PEPPERL+FUCHS</i>	69
Tabla 4	<i>Características Mikrotik</i>	71
Tabla 5	<i>Características del Módulo RF FC-201/SP</i>	74
Tabla 6	<i>Características USR-TCP232-410S</i>	75
Tabla 7	<i>Partes PLC Twido-twdlmda20dtk</i>	77
Tabla 8	<i>Características generales PLC Twido-twdlmda20dtk</i>	78
Tabla 9	<i>Localidades de las señales en el módulo de entradas analógicas</i>	85
Tabla 10	<i>Localidad de la señal en el módulo de entradas analógicas.....</i>	94
Tabla 11	<i>Ubicación geográfica de los puntos de comunicación.....</i>	94
Tabla 12	<i>Ubicación geográfica de los puntos del enlace 1</i>	98
Tabla 13	<i>Comparación de los valores del enlace 1</i>	102
Tabla 14	<i>Ubicación geográfica de los puntos del enlace 2</i>	102
Tabla 15	<i>Comparación de los valores del enlace 2</i>	106
Tabla 16	<i>Ubicación geográfica de los puntos del enlace 3</i>	107
Tabla 17	<i>Comparación de los valores del enlace 3</i>	110
Tabla 18	<i>Ubicación de la antena en la central de generación Illuchi 1</i>	115
Tabla 19	<i>Ubicación de la antena en la central de generación Illuchi 2</i>	116
Tabla 20	<i>Ubicación de la antena en el tanque de presión 1</i>	117
Tabla 21	<i>Ubicación de la antena en el tanque de presión 2</i>	117

Tabla 22	Ubicación del repetidor	118
Tabla 23	<i>Distribución de los pines de la radio</i>	121
Tabla 24	<i>Distribución de los pines del conector DB9</i>	122
Tabla 25	<i>Propiedades generales de la señal de nivel en la RTU</i>	125
Tabla 26	<i>Propiedades generales de la señal de caudal en la RTU</i>	125
Tabla 27	<i>Costo de los equipos e instalaciones (Tanque 1)</i>	135
Tabla 28	<i>Costo de los equipos e instalaciones (Central de generación Illuchi 1)</i>	135
Tabla 29	<i>Costo de los equipos e instalaciones (Tanque 2-Central de generación Illuchi 2)</i>	136

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1	<i>Cálculo de caudal para vertedero triangular en m^3s.....</i>	45
Ecuación 2	<i>Cálculo de caudal para vertedero rectangular con dos contracciones en m^3s</i>	46
Ecuación 3	<i>Cálculo de caudal para vertedero rectangular sin contracciones en m^3s</i>	47
Ecuación 4	<i>Cálculo de caudal para vertedero trapezoidal en m^3s.....</i>	48
Ecuación 5	<i>Cálculo de caudal para vertedero circular en m^3s.....</i>	48
Ecuación 6	<i>Cálculo de Potencia Mecánica en watts.....</i>	51
Ecuación 7	<i>Cálculo de Potencia Mecánica en watts.....</i>	52
Ecuación 8	<i>Cálculo de la eficiencia adimensional.....</i>	52
Ecuación 9	<i>Arduino</i>	87

RESUMEN

Se implementó la medición y registro de nivel y caudal en la central de generación Illuchi 1 perteneciente a la Empresa eléctrica Cotopaxi ELEPCO S.A., para esto se realizó el diseño e instalación de la instrumentación para la adquisición de las señales de nivel y caudal, se diseñó, instalo y estableció comunicación inalámbrica entre: Tanque de presión 1 con la central de generación Illuchi 1, Tanque de presión 2 con la central de generación Illuchi 2. Con la finalidad de que los datos del tanque 1 lleguen a la central de generación Illuchi 1 y los datos del tanque 2 lleguen a la central de generación Illuchi 2. El propósito es que las señales de nivel y caudal sean monitoreadas y registradas en el SCADA de ELEPCO S.A. El tanque de presión Illuchi 1 está separado de la central de generación llichí 1 por una distancia de 1200m con línea de vista y el tanque de presión Illuchi 2 está separado de la central de generación 2 por una distancia de 1700m sin línea de vista por lo que siguiendo el diseño se colocó un repetidor para que los datos lleguen correctamente. Las señales de nivel y caudal fueron ingresadas a la unidad terminal remota, posteriormente en el SCADA de la empresa eléctrica Cotopaxi donde fueron escaladas, y tratadas para la medición en tiempo real y su registro.

PALABRAS CLAVE:

- **MEDICIÓN**
- **REGISTRO**
- **COMUNICACIÓN**
- **ELEPCO S.A**
- **SCADA**

ABSTRACT

The measurement and recording of level and flow was implemented in the Illuchi 1 generation plant belonging to the Cotopaxi ELEPCO S.A. electric company, for this the design and installation of the instrumentation was made for the acquisition of the level and flow signals, it was designed, installed and established wireless communication between: Pressure tank 1 with the Illuchi 1 generation plant, Pressure tank 2 with the Illuchi 2 generation plant. With the purpose that the data from tank 1 reaches the Illuchi 1 generation plant and the data from tank2 reaches the Illuchi 2 generation plant. The purpose is that the level and flow signals be monitored and registered in the SCADA of ELEPCO S.A. The Illuchi 1 pressure tank is separated from the llich 1 generation plant by a distance of 1200m with line of sight and the Illuchi 2 pressure tank is separated from the generation 2 plant by a distance of 1700m without line of sight so following the design was placed a repeater so that the data arrive correctly. The level and flow signals were entered into the remote terminal unit, later in the SCADA of the Cotopaxi electricity company, where they were scaled, and processed for real-time measurement and recording.

KEYWORDS:

- **MEASUREMENT**
- **REGISTRY**
- **COMMUNICATION**
- **ELEPCO S.A**
- **SCADA**

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Planteamiento del problema

La Energía Eléctrica es de vital importancia para el uso diario en las actividades de las personas, así como en la industria, la generación de la misma es una actividad humana básica, debido a que está directamente relacionada con los requerimientos actuales del hombre. El crecimiento de la población, así como de las industrias, demandan mayor producción de energía eléctrica; con el fin de proveer del recurso energético a cada uno de los entes mencionados existen empresas que se encargan de la generación, transmisión y distribución de esta energía permitiendo llegar con este servicio a la población residencial, comercial e industrial.

Para las empresas de generación hidroeléctricas conocer el nivel de las represas de almacenamiento y los caudales de agua es de suma importancia y deben ser monitoreados, registrados y visualizados, con el apoyo de la tecnología, las empresas eléctricas han visto la necesidad de incorporar equipos de medición y monitoreo con el objetivo de mantener históricos para producción de energía eléctrica.

La Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi tiene centrales generadoras por toda la provincia, pero no todas estas centrales cuentan con sistemas de monitoreo y registro de los

datos que les permitan hacer uso eficiente del recurso hídrico, Illuchi 1 e Illuchi 2 son dos de estas centrales.

Las centrales generadoras de Illuchi cuentan con dos tanques de presión en donde la medición del nivel no se realiza con la precisión adecuada; adicional, no se dispone de un registro detallado en el tiempo del nivel de agua en los tanque tampoco dispone de medición ni registro de caudales en los canales de transporte de agua, debido a estas falencias no se pueden calcular la energía eléctrica que se está produciendo respecto a la cantidad de agua que ingresa a sus turbinas, los caudales de agua se usan con fines de determinar la eficiencia en el uso del recurso hídrico la medición de energía eléctrica producida y uso correcto del caudal, debido a la existencia de entidades de regulación de recursos naturales donde se controla que se destine un porcentaje de agua para el caudal ecológico, por tanto, es necesario corregir la problemática que ocasiona la inexactitud de las mediciones de niveles y caudales de agua.

De lo expuesto se debería considerar que es necesario implementar la medición de los niveles y caudales del agua, tomando en cuenta que las empresas generadoras deben reportar periódicamente estos datos a entidades tales como ARCONEL y MEER.

1.2. Antecedentes

La Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi (ELEPCO S.A.) con una trayectoria de más de 30 años se dedica a la comercialización y distribución de energía eléctrica en su área de concesión que comprende siete cantones: Latacunga, Pujilí, Salcedo, Saquisilí, Sigchos y La Mana. Cuenta

con cuatro puntos de enlace con el Sistema Nacional Interconectado (SIN) y dispone de cinco centrales de generación eléctrica que son:

- Central hidroeléctrica Illuchi N°1 con una capacidad de 5,24 MVA.
- Central hidroeléctrica Illuchi N°2 con una capacidad de 6,50 MVA.
- Central hidroeléctrica El Estado con una capacidad de 2,12 MVA.
- Central hidroeléctrica Catazacón con una capacidad de 1,00 MVA.
- Central hidroeléctrica Angamarca con una capacidad de 0,38 MVA.

Uno de los objetivos estratégicos de ELEPCO S.A. es “Incrementar el nivel de modernización, investigación y desarrollo tecnológico” y tiene como estrategia: “Incorporar nuevas tecnologías en el sistema eléctrico, orientadas a las redes inteligentes y el reemplazo de bienes obsoletos” (Elepco S.A., 2018), por lo cual su indicador es incrementar el porcentaje de automatización del sistema eléctrico SCADA, OMS, ADMS. El departamento de generación de ELEPCO S.A. debe asegurarse de mantener la calidad de la energía eléctrica y cumplir con los estándares de calidad establecidos por la ARCONEL, las centrales de generación distribuida que ELEPCO dispone, requieren permanente el mantenimiento y reposición de su infraestructura, así como la innovación de sus sistemas de control y monitoreo. En un ambiente socioeconómico como el de ELEPCO S.A. conocer la información en tiempo real de variables de importancia es indispensable, tener esta información en el momento que se requiera sin depender de recursos externos que en lugar de facilitar el trabajo de los operadores lo obstaculiza, haciendo la obtención de los datos lenta y no confiable, es una prioridad tener los datos de forma inmediata

para permitir que se realice análisis, toma de decisiones, y acciones preventivas o correctivas dependiendo del caso (Elepco S.A., 2018).

1.3. Justificación e Importancia

El monitoreo, registro y medición del nivel de los tanques de presión 1 y 2 es necesario ya que actualmente esta actividad se lo realiza mediante un operador, el cual se encarga de visualizar la medida en una regleta y registrarla aquí se puede producir errores en la medición, los caudales que ingresan a la central de generación no cuentan con sensores siendo imposible determinar el caudal ingresado a la estación y por lo tanto no es posible calcular la producción de energía.

Como parte de las políticas relatorías del ARCONEL y MEER dirigido a las empresas generadores del Ecuador con capacidad superior a 5 MW, se establece la obligatoriedad que tienen estas de reportar un registro mensual sobre el uso y aprovechamiento del recurso hídrico usado en el proceso de generación de electricidad, por su parte ELEPCO S.A. realiza este proceso de manera manual y dependiendo de la percepción de los operadores de turno.

Considerando que al momento ELEPCO S.A. dispone de un moderno sistema SCADA implementado por el Ministerio de Electricidad y Energías renovables (MEER) que puede ser aprovechado para realizar el monitoreo, registro y control de los niveles y caudales hídricos que alimentan a las centrales de generación Illuchi 1 e Illuchi 2, el presente proyecto pretende

integrar instrumentación existente e instrumentación nueva que permita el ingreso de las señales de nivel y caudal al SCADA central de ELEPCO S.A.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General

- Diseño e implementación del módulo para la medición y registro de caudales y niveles en los tanques de presión de las centrales Illuchi 1 e Illuchi 2 a ser integrado al sistema SCADA de ELEPCO S.A.

1.4.2. Objetivos Específicos

- Investigar los requisitos técnicos y tecnológicos del SISTEMA SCADA/OMS-MWM/DMS que dispone ELEPCO S.A., necesario para la integración del módulo de medición y registro de niveles y flujo de agua en centrales hidroeléctricas Illuchi 1 e Illuchi 2.
- Diseñar y seleccionar la instrumentación necesaria para la medición de nivel en el tanque de presión 1 y 2, y la medición de caudal en canal abierto en la entrada de la central de generación Illuchi 1 e Illuchi 2.
- Diseñar e implementar el sistema de comunicación, que permita comunicar los tanques de presión 1 y 2 con la RTU central del SCADA de ELEPCO S.A.
- Diseñar e implementar las interfaces de visualización en el Sistema SCADA/OMS-MWM/DMS para el monitoreo, registro y visualización de los niveles y caudales de agua.

- Evaluar el módulo implementado a través de pruebas de funcionamiento en campo que validen la correcta integración sistema SCADA de ELEPCO S.A.

1.5. Variables de Investigación

1.5.1. Variable Independiente

El diseño e implementación del módulo para la medición y registro de caudales y niveles en los tanques de presión de las centrales Illuchi 1 e Illuchi 2 ELEPCO S.A.

1.5.2. Variable Dependiente

Establecer la eficiencia de uso del recurso hídrico en la generación eléctrica.

1.6. Hipótesis

El diseño e implementación del módulo para la medición y registro de caudales y niveles en los tanques de presión de las centrales Illuchi 1 e Illuchi 2 ELEPCO S.A. permitirán establecer la eficiencia de uso del recurso hídrico en la generación eléctrica.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Fundamentación Teórica

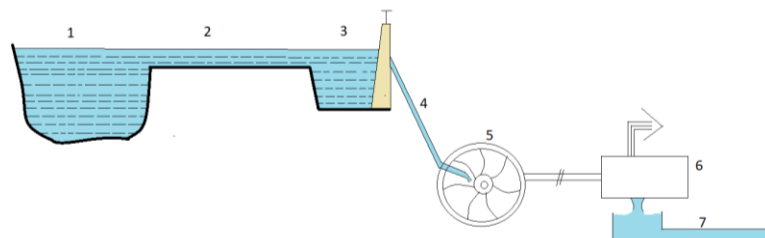
2.1.1. Centrales de generación hidroeléctrica

La energía eléctrica que proviene del aprovechamiento de la energía potencial del agua es en primera instancia convertida en energía cinética, posteriormente en energía mecánica por medio del giro en una turbina finalmente se transforma en energía eléctrica en un generador esta energía se denomina energía hidroeléctrica. La hidroelectricidad es una de las formas de producción de energía muy común y aceptada hoy en día por ser renovable y de producción instantánea (Espejo Marín & García Marín, 2010, pág. 108).

A continuación, se muestra en la figura 1 una representación de las partes que constituyen una central de generación hidroeléctrica:

Figura 1

Esquema de una central hidroeléctrica



1.-Reservorio: Se encuentra en lugares alejados este puede ser natural o construido, es un depósito para albergar cantidades grandes de agua.2.-Canal de Conducción: Son canales o tuberías que permiten que el agua se traslade desde el reservorio hacia el tanque de presión.3.- Tanque de presión: Es una construcción en la cual el agua se concentra con esto se logra que adquiera una cierta presión con el fin de que no ingrese aire en la tubería. 4.-Tubería de presión: por esta tubería el agua se traslada hacia abajo para adquirir energía cinética necesaria para luego poder convertirla en energía mecánica. 5.-Turbina: Es en esta etapa donde la energía cinética es convertida en energía mecánica, tiene un rodete que junto a un eje jira de forma autónoma.6.-Generador: En esta parte se convierte la energía mecánica en energía eléctrica por medio del giro del rodete, es un alternador eléctrico.7.-Canal de descarga: Canal que devuelve el agua utilizada a un río. (Lucio Cruz & Trávez Pillo, 2005).

2.1.2. Central de Generación Eléctrica Illuchi N°1

La Central se encuentra ubicada en la ciudad de Latacunga, ha operado 55 años de manera continua tiene una capacidad de 5,24 MVA. Es una central hidráulica constituida por cuatro turbinas de marca Bell, tipo Pelton, cuatro generadores de marca BBC. Es una central en cascada (Figura 10) es decir forma parte de un grupo de centrales que aprovechan el líquido de otras centrales aguas arriba, siendo esta la primera central en el sistema en cascada. El agua que se encuentra almacenada arriba de las turbinas en el tanque de presión 1 que se encuentra a 1.300 metros de la central a una altura de 300 metros sobre ella, (figura 2) el líquido entra a tres tuberías (figura 3) que la dirigen a la casa de máquinas (figura 4) donde el agua entra a las

turbinas, la cantidad de volumen almacenado depende la cantidad de agua que se puede hacer pasas por las turbinas (Calero Freire, 2007).

Figura 2

Tanque de presión de la Central Illuchi 1

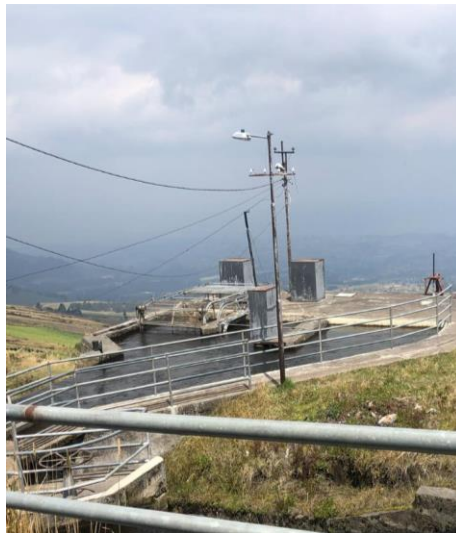


Figura 3

Tubería Central Illuchi 1



Figura 4

Casa de máquinas de la Central Illuchi 1



La subestación de elevación cuenta con tres transformadores que se encuentran trabajando en paralelo estos son de 23/2.4 kV, 1750 kVA, (figura 5), se interconectan al sistema través de una línea trifásica hasta la subestación El Calvario (Calero Freire, 2007, pág. 18).

Figura 5

Subestación de la Central Illuchi 1



2.2. Central de Generación Eléctrica Illuchi N°2

La Central se encuentre ubicada en la ciudad de Latacunga en la provincia de Cotopaxi, ha operado 35 años de manera continua tiene una capacidad de 6,50 MVA. La constitución de esta central es similar a la central Illuchi 1 en cuanto a las turbinas y generadores. Es una central de paso que aprovecha el agua turbinada que sale de la central Illuchi 1. (Figura10). El agua que se encuentra almacenada arriba de las turbinas en el tanque de presión 2 (Figura 6) que se encuentra 300 metros sobre la central 2 baja por dos tuberías (figura 7) a la casa de máquinas (figura 8) (Calero Freire, 2007).

Figura 6

Tanque de presión de la Central Illuchi 2



Figura 7

Tubería Central Illuchi 2

**Figura 8**

Casa de máquinas de la Central Illuchi 2



La subestación cuenta con un transformador trifásico de 6500KVA, la subestación y la línea de transmisión se conectan a la subestación El Calvario (Figura 9) (Calero Freire, 2007, pág. 41).

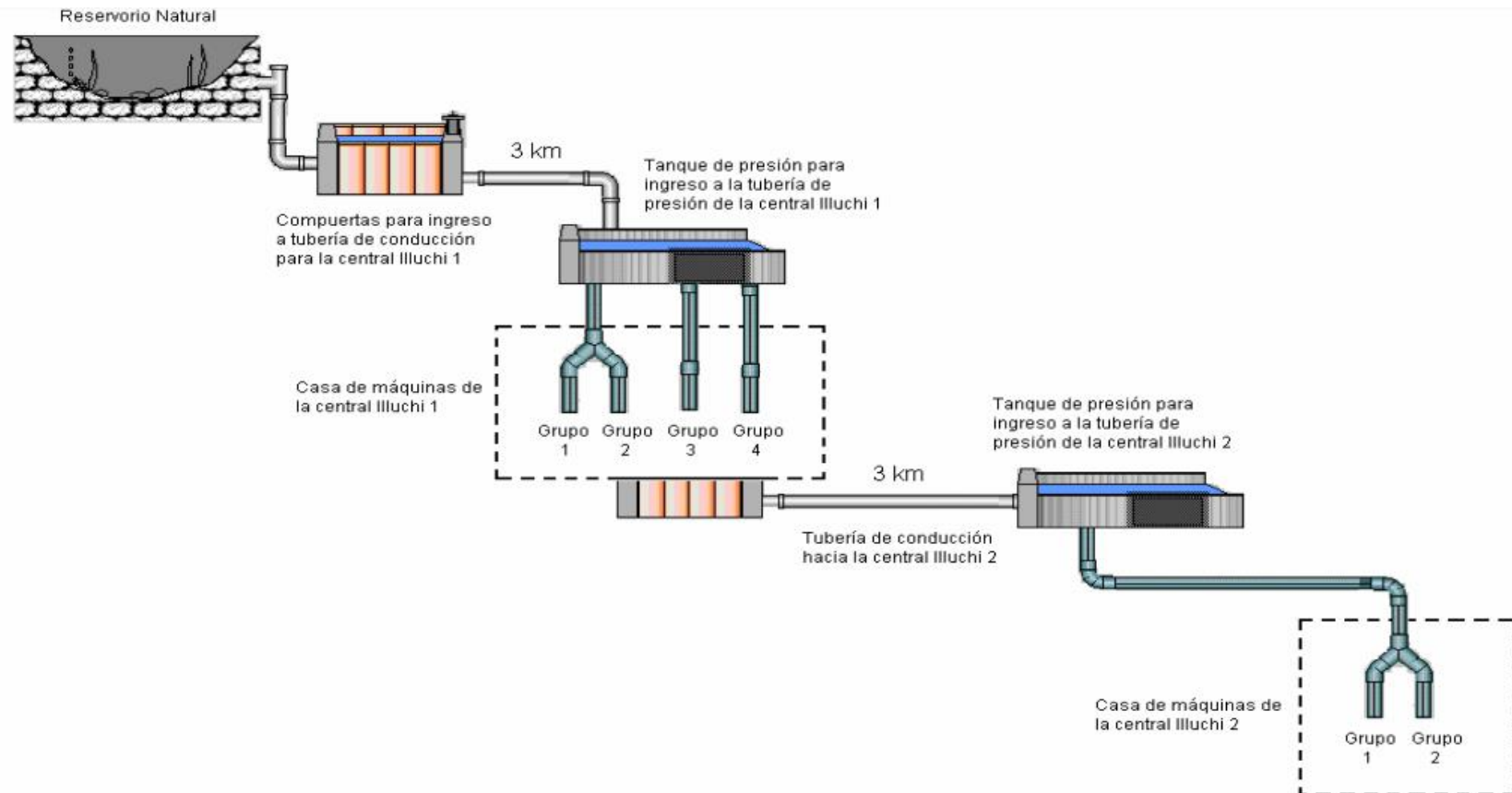
Figura 9

Subestación de la central Illuchi 2



Figura 10

Esquema de conducción de agua para central Illuchi 1 y 2



Nota. Tomado de (Calero Freire, 2007, pág. 43)

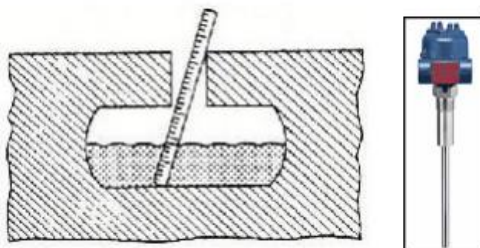
2.3. Medición de nivel

La variable nivel es una de las variables más comunes y fundamentales en la industria de procesos y su significado implica la posición relativa con respecto a un punto de referencia, la medición de nivel puede necesitarse por diversas razones como: comprobar la cantidad de una sustancia o material específico, determinar la cantidad de material que va hacia un proceso, o puede ser la medición primaria en un sistema regulatorio para mantener el nivel dentro de un proceso continuo. Existen múltiples sensores para la medición de nivel y la elección de uno de ellos depende de las condiciones del proceso y de las condiciones ambientales.

Los sensores de medir nivel de líquido bajo varios principios diferentes como se muestra a continuación:

- **Medidor de sonda**

Es una regla su tamaño es de acuerdo al tamaño del depósito para ser introducida como se muestra en la (Figura 11), para medir el nivel se debe leer directamente la parte mojada de la regla, cuando el depósito está abierto a presión atmosférica (Tonato Muzo, 2009).

Figura 11*Medidor de sonda**Nota.* Tomado de (Tonato Muzo, 2009, pág. 11)

- **Medidor tipo flotador**

Consiste en un flotador que se encuentra suspendido, existe la conexión directa y magnética. La conexión directa es la más antigua, el flotador está unido en poleas a un índice encargado de señalar la escala una desventaja es que el flotador debe mantenerse siempre limpio y que las partes están en contacto con el líquido lo que las desgasta. La conexión magnética tiene un flotador unido de forma magnética que desliza en la parte exterior en un tubo, en el interior se encuentra una pieza magnética que es atraída por el flotador lo que hace que el índice situado en la parte superior marque la medida (Tonato Muzo, 2009).

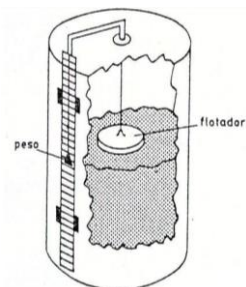
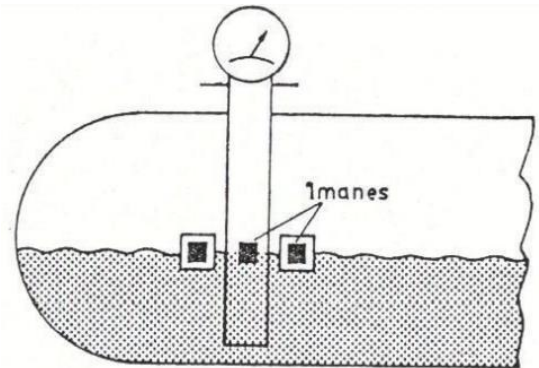
Figura 12*Medidor tipo flotador conexión directa**Nota.* Tomado de (Tonato Muzo, 2009, pág. 12)

Figura 13

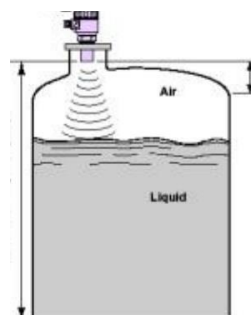
Medidor tipo flotador conexión magnética



Nota. Tomado de (Tonato Muzo, 2009, pág. 13)

- **Medidor por ultrasonido**

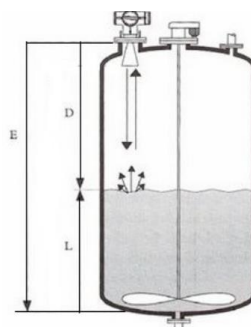
Son óptimos para la medición en cualquier tipo reservorio y todo tipo de líquido porque no está en contacto con el material lo que también lo hace apropiado para ambientes agresivos, se presentan inconvenientes cuando la sustancia a medir presenta espuma, lo que produce falsos ecos y no permite una medición adecuada. Este tipo de sensor emite un pulso ultrasónico, la superficie del líquido refleja la señal y el sensor la detecta nuevamente. La altura del nivel se conoce por el tiempo que se tardan los impulsos ultrasónicos en ir desde el sensor hasta la superficie del material y volver (Tonato Muzo, 2009, págs. 13-14). La señal ultrasónica que se refleja es directamente proporcional a la distancia que recorre, trabajan a unos 20Khz. No requiere mantenimiento, proporciona mayor fiabilidad y exactitud que otros sensores que se usan en contacto con el material (Arcos Montezuma, 2010, pág. 10).

Figura 14*Medidor por ultrasonido*

Nota. Tomado de (Tonato Muzo, 2009, pág. 14)

- **Sensores de radar**

Consiste en la propagación de una onda electromagnética, tiene un oscilador que genera una frecuencia de 10 a 11GHz este enfoca la señal en el material esta señal es enfocada por una antena La diferencia que se genera entre las frecuencias de la señal de transmisión y la señal de retorno es proporcional al tiempo empleado por las mismas. Este sensor al emplear una onda electromagnética soluciona el problema del sensor de ultrasonido ya que la espuma es transparente a la señal (Tonato Muzo, 2009, pág. 14).

Figura 15*Medidor de radar*

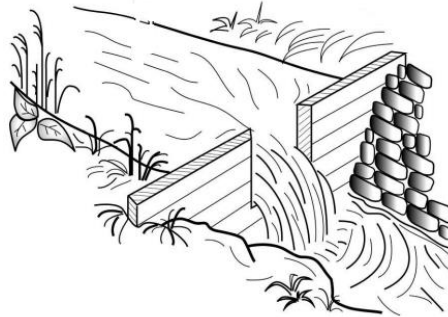
Nota. Tomado de (Tonato Muzo, 2009, pág. 15)

2.4. Medición de caudal

La variable caudal forma parte de las variables más comunes e importantes en la industria de procesos, ya que es la cantidad de agua que fluye a través de una corriente, para realizar la medición de caudal se usan caudalímetros los mismos que constan de un microprocesador que almacena la fórmula del gasto de sección del aforo y está conectado a un sensor de nivel, en la medición de caudal a canal abierto la medición se la puede realizar por medio de un sensor de nivel y posteriormente aplicar la fórmula para obtener el valor del caudal, la formula a aplicarse varía dependiendo de la técnica de aforo que se use, presentadas a continuación:

- **Vertedero de pared**

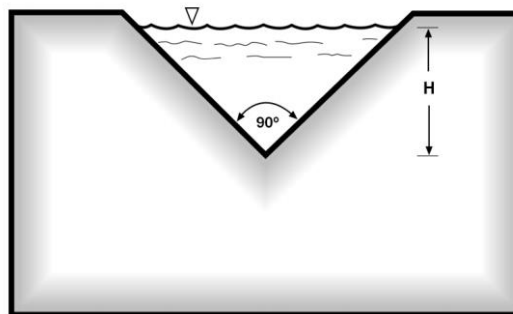
Consiste en una abertura que puede ser de diferentes formas como triangular, rectangular, trapezoidal, circular, esto va a depender de las condiciones en las que se realice la medición, por encima de la hendidura circula el agua (Figura 16), esta técnica de vertedero es muy usada ya que presenta precisión en la medida, su construcción y mantenimiento son de bajo costo (Lux Monroy, 2010).

Figura 16*Vertedero*

Nota. Tomado de (Lux Monroy, 2010, pág. 7)

- **Vertederos triangulares**

Este tipo de vertedero tiene una hendidura que forma un ángulo de 90° (Figura 17)

Figura 17*Vertedero triangular*

Nota. Tomado de (Lux Monroy, 2010, pág. 17)

$$Q = 1.4 H^{5/2}$$

Ecuación 1

Cálculo de caudal para vertedero triangular en $\frac{m^3}{s}$

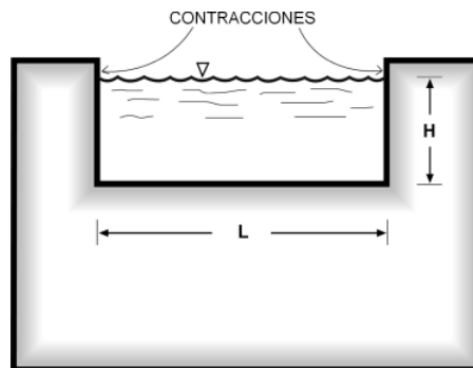
Nota. Tomado de (Lux Monroy, 2010)

- **Vertedero rectangular con dos contracciones**

Este tipo de vertedero tiene una hendidura de forma rectangular (Figura 18)

Figura 18

Vertedero rectangular con dos contracciones



Nota. Tomado de (Lux Monroy, 2010, pág. 16)

$$Q = 1.84 (L - 0.2H) H^{3/2}$$

Ecuación 2

Cálculo de caudal para vertedero rectangular con dos contracciones en $\frac{m^3}{s}$

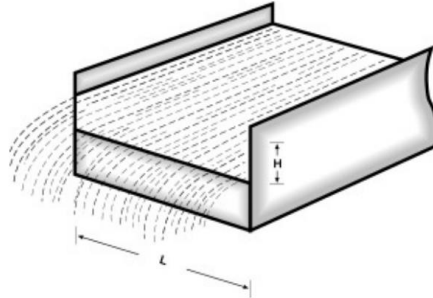
Nota. Tomado de (Lux Monroy, 2010)

- **Vertedero rectangular sin contracciones**

Este tipo de vertedero tiene una hendidura de forma rectangular y no tiene ninguna contracción (Figura 19)

Figura 19

Vertedero rectangular sin contracciones



Nota. Tomado de (Lux Monroy, 2010, pág. 15)

$$Q = 1.84 L H^{3/2} \text{ en } \frac{m^3}{s}$$

Ecuación 3

Cálculo de caudal para vertedero rectangular sin contracciones en $\frac{m^3}{s}$

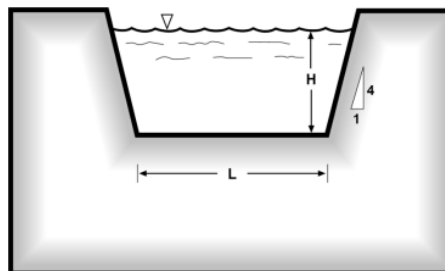
Nota. Tomado de (Lux Monroy, 2010)

- Vertedero trapezoidal

Este tipo de vertedero tiene una hendidura de forma trapezoidal su construcción es más dificultosa por lo cual no es tan usado. (Figura 20)

Figura 20

Vertedero trapezoidal



Nota. Tomado de (Lux Monroy, 2010, pág. 18)

$$Q = 1.859 L H^{3/2}$$

Ecuación 4

Cálculo de caudal para vertedero trapezoidal en $\frac{m^3}{s}$

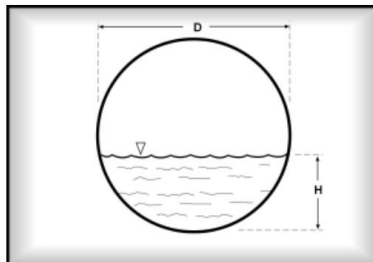
Nota. Tomado de (Lux Monroy, 2010)

- **Vertedero circular**

Este tipo de vertedero tiene una hendidura circular, no es tan usado. (Figura 21)

Figura 21

Vertedero circular



Nota. Tomado de (Lux Monroy, 2010, pág. 19)

$$Q = 1.518 D^{0.693} H^{1.807}$$

Ecuación 5

Cálculo de caudal para vertedero circular en $\frac{m^3}{s}$

Nota. Tomado de (Lux Monroy, 2010)

2.5. Uso del recurso hídrico

Los recursos hídricos que están disponibles en el mundo tienen su origen en un desequilibrio en los continentes, entre el agua de precipitación y la evaporación del agua. En los

océanos el fenómeno funciona de manera contraria, sin deficitarios y la evaporación esta con 10% superior a la precipitación. Todos los recursos hídricos que están disponibles en el mundo para cubrir las necesidades de cualquier tipo, depende precisamente de esos excedentes en los continentes, entre el agua de precipitación y el agua que vuelve a la atmosfera. El agua que está en la naturaleza es constante, debido a la conservación de la masa, de esta manera varia del estado líquido o solido a vapor y viceversa. Quien es el responsable de estos cambios es el clima y por tanto los cambios climáticos arrojan necesariamente cambios en el tiempo y en el espacio de los recursos hídricos disponibles (Iglesias, Estrela, & Gallart, 2005). Las centrales generadoras son uno de los ejemplos más comunes que se tiene para poder ver el uso de los recursos hídricos ya que aprovechan la energía potencial, cinética y volumen del agua que cae sobre las hélices de una turbina y genera movimiento en el generador que va acoplado a esta turbina, y de esta manera se produce electricidad (Iglesias, Estrela, & Gallart, 2005).

2.5.1. Eficiencia del uso del Recurso Hídrico

Para poder entender la eficiencia en el uso del agua en las centrales hidroeléctricas es necesario conocer los procesos que intervienen en la misma.

2.6. Turbinas hidráulicas

Estas son las encargadas que transfieren la energía mecánica en energía eléctrica, es por eso que la elección para el uso de ellas es de vital importancia dependiendo de cada sistema hidroeléctrico. El uso inmediato del trabajo mecánico de la turbina, es el de producir

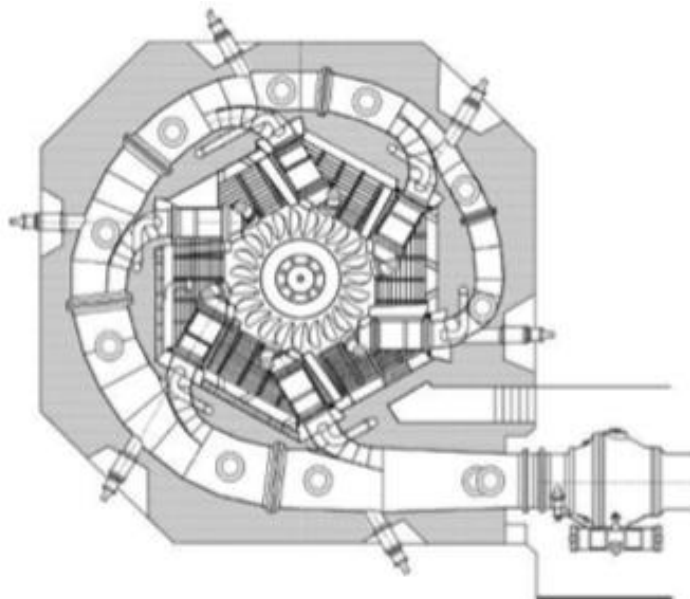
movimiento giratorio en el rotor del generador de energía eléctrica, en el cual esta energía mecánica es transformada en energía eléctrica (Porras Ortiz, 2011, p. 24).

2.6.1. Turbina tipo Pelton

El Americano Lester Pelton acerca del año 1880 fue quien invento esta turbina. Dispone de un rodete y tienen una forma de vaso. Si se requiere aumentar la potencia de esta, es necesario que exista inyectores distribuidos por afuera de la misma, con lo cual se puede obtener 6 grandes turbinas (Figura 22). Ahora se procede a analizar y si se excede en la cantidad de inyectores estos pueden llegar a intervenir en el flujo del agua y consecuentemente bajar el rendimiento del equipo (Porras Ortiz, 2011).

Figura 22

Diagrama de la distribución de los inyectores en una Turbina Pelton



Nota. Tomado de (Porras Ortiz, 2011)

Tabla 1*Rangos de caudales para turbina Pelton*

Elemento	Mínimo	Máximo
Caída	100 m	500 m
Caudales	0,06 m ³ /s	1,0 m ³ /s
Potencias nominales	50 Kw	2000 Kw

Nota. Tomado de (Porras Ortiz, 2011)

2.6.2. Potencia y eficiencia de las turbinas Pelton

En la producción se le da más interés a la potencia de las turbinas, sin embargo, los Ingenieros que están a cargo de la parte de diseño de las turbinas tienen que tratar de reducir a 0 las pérdidas. Por tal razón es importante conocer como inciden estos parámetros dentro del cálculo de la eficiencia de la misma, (Porras Ortiz, 2011). Cuando se da el caso que la turbina está en su rendimiento máximo y la potencia también se tiene un punto llamado de máxima productividad, lo cual representa ganancias económicamente. Cuando la maquina no está funcionando se dice que su rendimiento es nulo. (Porras Ortiz, 2011, pág. 30).

2.7. Cálculos

2.7.1. Potencia mecánica

$$PM = \frac{2\pi NT}{60}$$

Ecuación 6

Cálculo de Potencia Mecánica en watts.

Nota. Tomado de (Porras Ortiz, 2011)

Dónde:

$$T = F \times Brazo$$

$$F = \text{Fuerza de frenado}$$

$$N = \text{RPM del eje de la turbina}$$

$$T = \text{Torque}$$

2.7.2. Potencia hidráulica

$$PH = \gamma \times HT \times Q$$

Ecuación 7

Cálculo de Potencia Mecánica en watts

Nota. Tomado de (Porras Ortiz, 2011)

Dónde:

$$\gamma = \text{Peso específico del agua}$$

$$Q = \text{Caudal}$$

$$HT = \text{Carga de la turbina}$$

2.7.3. Eficiencia

$$Nt = \frac{Pm}{Ph} \times 100\%$$

Ecuación 8

Cálculo de la eficiencia adimensional

Nota. Tomado de (Porras Ortiz, 2011)

Donde:

$$Nt = \text{Eficiencia}$$

PM = Potencia Mecánica

PH = Potencia Hidráulica, (Porrás Ortiz, 2011, págs. 31-32)

2.8. Sistemas de comunicación

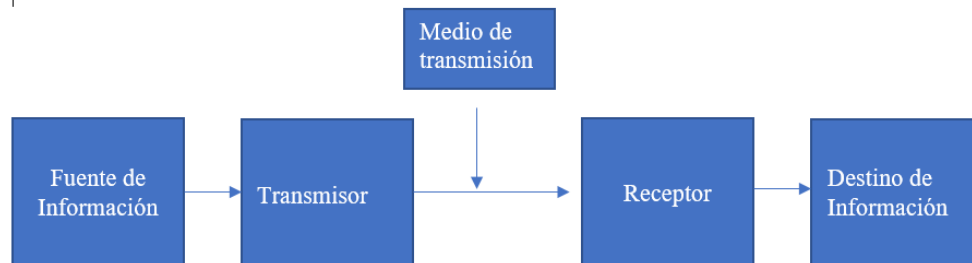
La principal finalidad de un sistema de comunicaciones es transmitir información de un lugar a otro. Por lo tanto, este sistema consiste en la transmisión, recepción y procesamiento de información en distintos lugares a través de la electrónica. La información que se transmite puede tener diferentes tipos de origen ya sea analógica o en forma digital sea cual sea esta debe ser transformada a energía electromagnética antes de ser transmitida mediante un sistema de comunicaciones (Tomasi, 2003).

Samuel Morse en 1837 desarrollo el primer sistema de comunicaciones, mediante puntos, rayas y espacios utilizando la inducción electromagnética. Guglielmo Marconi transfirió señales de radio a través de la atmosfera terrestre por primera vez en 1894. Sin embargo, la forma de transmitir y los conceptos fundamentales para que existan las comunicaciones electrónicas han cambiado desde el inicio, los métodos y sus circuitos electrónicos han sufrido cambios a gran escala (Tomasi, 2003).

Un sistema de comunicaciones tiene que tener de un transmisor, un medio de transmisión y un receptor como se observa en la siguiente figura.

Figura 23

Diagrama simplificado de bloques de un sistema de comunicaciones electrónicas



Nota. Tomado de (Tomasi, 2003, pág. 2)

Otro aspecto importante a considerar en los sistemas de comunicación son los medios por el cual se transmite esta información que comprende básicamente 2 tipos que son los medios guiados y los medios no guiados. (Rangel, 2013)

2.8.1. Medios Guiados

Estos medios guiados conducen las ondas entre el transmisor y receptor mediante un camino físico. También se les conoce como medios de transmisión por cable. Los medios de transmisión guiados tienen un gran uso dentro de las industrias y están conformados por una guía o cable que se encarga de la conducción de la información de un extremo a otro, y es este propio medio el cual establece sus limitaciones: Velocidad de transmisión, Ancho de banda y espacio entre repetidoras (Rangel, 2013).

1. Pares trenzados, 2) Cable coaxial, 3) Fibra óptica, estos 3 son la forma en la que se clasifican los medios guiados. (Rangel, 2013, p. 11).

2.8.2. Medios no Guiados

Son medios los cuales la forma en la que transmiten la información no es a través de una forma física, si no que las señales se propagan a través del aire. Estos medios utilizan antenas las cuales deben ser alineadas cuando se quiere una transmisión direccional o, se puede tener también una señal omnidireccional que se propaga por todas partes (Rangel, 2013).

Para los medios mediante la señal se propaga existen técnicas como (ondas de radio, sistemas infrarrojos, microondas, satelital, laser) (Rangel, 2013, p. 11).

2.8.3. Ondas de Radio

(González Arias, 2001) Citado por (Rangel, 2013, pág. 16) explica que las ondas de radio son “ondas electromagnéticas cuya frecuencia va desde unos pocos kilo Hertz (khz) hasta 300 giga Hertz (Ghz). Un kilo Hertz equivale a mil ciclos por segundo y un mega Hertz a (Mhz) a un millón; una giga Hertz equivale a 10⁹ hz o 100 MHz” (p. 67).

Figura 24

Símbolo de la antena de metal aislado en blanco



Nota. Tomado de (Arbaev, 2019)

2.8.4. Microondas

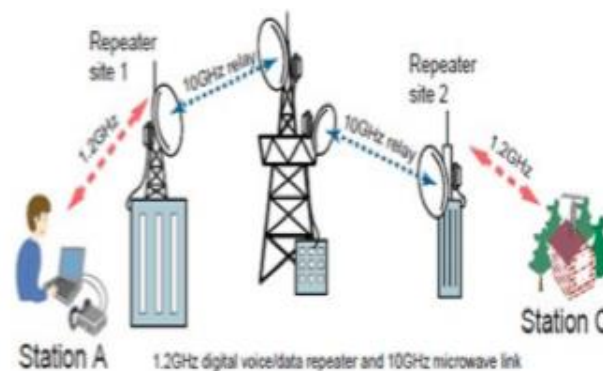
Son ondas de tipo electromagnético las cuales están definidas en un rango de frecuencia específico, así como las ondas de radio, sin embargo, tienen algunas diferencias:

- La forma de transmitir la información de las ondas se lo hace en una sola dirección mientras que la radio es omnidireccional.
- Las microondas suelen ser sensibles a cambios climáticos por los cual suelen mostrar algunos efectos.
- Con las ondas de radio se puede presentar señales adicionales a las que queremos transmitir. (Rangel, 2013)

Suelen ser utilizadas para la transmisión de voz, señal de televisión, telefonía (Rangel, 2013, pág. 17); una de las principales características es que se puede transferir la información a largas distancias (Red Tauros, 2019).

Figura 25

Estaciones de microondas



Nota. Tomado de (Red Tauros, 2019)

2.8.5. Sistemas infrarrojos

Debido a la estructura por infrarrojos, dos nodos pueden transferir información, esto se da gracias a leds infrarrojos. Estos leds son a su vez emisores y receptores de las ondas infrarrojas, es indispensable que existan los 2 dispositivos para que se puedan comunicar, es por eso que no es común su uso (Rangel, 2013)

Figura 26

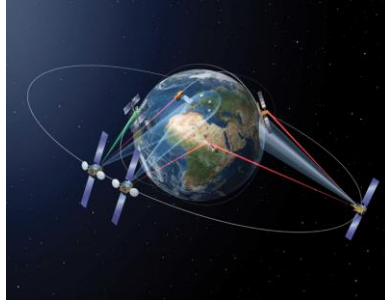
Comunicaciones por infrarrojo



Nota. Tomado de (Telecomunicaciones TICS, 2014)

2.8.6. Laser

Para realizar la transmisión mediante la técnica de laser es necesario mezclar ya sea su amplitud, frecuencia, fase con la señal que contiene el mensaje, por lo cual en el receptor se debe de contar con un demodulador para que se pueda obtener el mensaje. Es una buena técnica para transmitir, pero su eficiencia depende de las condiciones meteorológicas. (Rangel, 2013, pág. 18).

Figura 27*Laser*

Nota. Tomado de (Fernández, 2017)

2.8.7. Satelital

Esta forma de transmisión utiliza satélites, que son estaciones ubicadas dentro de la atmósfera terrestre con la finalidad de ser usadas como repetidoras de comunicación. Este medio ha ido ganando aceptación dentro de lo que son redes inalámbricas, ya que cuenta como ventajas su velocidad de transmisión y la cobertura. Por otro lado para replicar la información se necesita tiempo por lo que suele presentar retardos y es sensible a fallas por las condiciones atmosféricas (Rangel, 2013, pág. 18).

Figura 28*Satélite*

Nota. Tomado de (IndraCompany, 2013)

2.9. Dispositivos de instrumentación, control y registro

Los dispositivos de instrumentación y control tienen un gran campo de aplicaciones dentro de la industria. Cuando empezó la era industrial, todas las operaciones que se realizaban se hacían manualmente utilizando sencillos instrumentos como manómetros, válvulas manuales, termómetros etc., y de esta manera era suficiente ya que los procesos no tenían demasiada complejidad. Con el pasar del tiempo y el avance de la tecnología la complejidad de estos procesos ha obligado la automatización de los mismos mediante los dispositivos de instrumentación, control y registro, los cuales han traído muchas ventajas a la industria (Jaramillo Garzón & Quito García, 2016).

Todo proceso industrial debe tener un adecuado control para toda su producción de los diferentes procesos. Todos estos procesos son múltiples y conforman muchos tipos de productos como alimenticios, derivados de petróleo, las centrales generadoras, metales, ceramita, etc., (Jaramillo Garzón & Quito García, 2016).

Para todas las industrias es indispensable hacer mediciones y tener el control para mantener constantes algunas variables las cuales pueden ser, presión, la temperatura, el caudal, el nivel, la velocidad, la humedad, el punto de rocío. Los dispositivos utilizados son instrumentos que permiten tener el control y hacer cambios en las condiciones más adecuadas (Creus Solé, 2011).

2.9.1. PLC

Hoy en día un PLC es un ordenador que tiene un propósito específico que opta una opción más segura y funcional para los sistemas de control industriales. Es un equipo electrónico que digitalmente se lo opera programando sus entradas y salidas y reservando un almacenamiento interno, el cual dispone también de funciones como temporizador, conteo. Un equipo digital que funcione de tal manera que ejecute funciones de un controlador programable se puede delinear bajo este concepto (Vallejo, 2019).

Figura 29

PLC



Nota. Tomado de (Siemens, 2018, pág. 6/19)

2.9.2. RTU

Son dispositivos utilizados para la instrumentación y los cables que llevan las señales de control, el cual debe estar conectado a un sistema de baterías. Estos dispositivos tienen también transformadores de voltaje y de corriente con el objetivo de obtener los valores analógicos. (Smith, 2010) Mencionado por (Hernández González, 2014, pág. 13)

Las RTU utilizadas en los primeros sistemas SCADA no eran tan desarrolladas como ahora, utilizaban preguntas llamadas polling para poder acceder a sus datos, así que la RTU solamente mandaba la información cuando se le preguntaba. Uno de los objetivos de la RTU era recuperar los datos finales de los instrumentos, así como también realizaba conversiones de señales de voltaje a digitales. (Hernández González, 2014, pág. 13) Cita a (Chacon, 2001)

Figura 30

RTU



Nota. Tomado de (Virual Expo Group, 2019)

2.9.3. Registradores

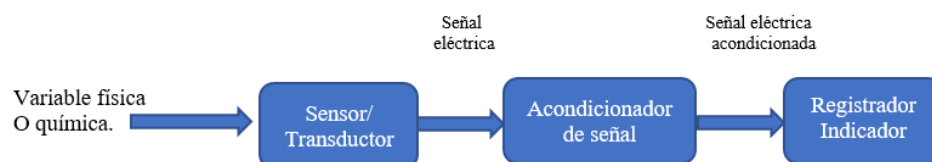
Un equipo de registro es un instrumento que tiene la finalidad de registrar un valor de una variable al medirla. Estos equipos comprenden aparatos de registro gráfico, las impresoras de computación, las EPROM. Registran medidas ordenadas en el tiempo, cuyo origen es de diferentes sensores. Cada medición es guardada en una memoria con su respectiva fecha (Wolf & Smith, 1992, pág. 240).

Estos registradores deben cumplir una serie de características para ser competitivos en el mercado. Por lo tanto, deben ser: portátil, deben funcionar con baterías, su peso y tamaño

deben ser adecuados para transportarlos de manera sencilla, tener una electrónica avanzada de tal manera que su consumo de energía sea bajo, ya que funcionan por semanas, meses y hasta años y tienen que durar todo ese tiempo, Intervalos de muestreo que se puedan cambiar mediante la programación y con una flexibilidad que permita tener desde segundos hasta horas, tener una memoria que permita tener una gran capacidad de almacenamiento de datos, interfaz con el usuario mediante un ordenador, donde el operario pueda leer el dispositivo de manera fácil y que su programación sea rápida mediante aplicaciones a través del ordenador. En las industrias los registradores trabajan juntamente con los sensores y transductores para que almacenen datos entendibles para el operador (Tigse Bravo, 2010).

Figura 31

Diagrama de bloques de un registrador



Nota. Tomado de (Tomasi, 2003)

Figura 32

Registrador



Nota. Tomado de (NOVUS, 2003-2019)

2.9.4. SCADA

El ministerio de electricidad y energía renovable MEER en el año 2009 implemento SIGDE que significa Sistema Integrado para la Gestión de la Distribución Eléctrica, (Andrade Molina, 2014) en empresas eléctricas del Ecuador dentro de las cuales se encuentra la Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi ELEPCO, el proyecto SIGDE, (Andrade Molina, 2014), tiene como objetivo:

Proporcionar al Ministerio de Electricidad y Energía Renovable, un mapa completo de sus procesos, ajustados a su misión, visión y directrices, a fin de que este mapa se constituya en la base para definir los elementos de información necesarios para dar soporte a los procesos, configurando así un modelo integrado de datos, (Andrade Molina, 2014, pág. 1)

Es un proyecto implantado para que todas las empresas que se encuentran dentro de él proporcionen calidad en sus servicios y sistemas como: SCADA, empresarial, comercial, activos, entre otros, cumpliendo estándares de tecnología y procedimientos (Salazar Polanco, 2015), (Elepco S.A., 2018).

El proyecto SIGDE implemento un sistema denominado SCADA/OMS-MWM/DMS NACIONAL en las empresas: EEQ (Quito), EEASA (Ambato), CNEL Sucumbíos, Corporación Nacional de Electricidad CNEL EP, CENTROSUR (Cuenca), ELEPCO (Cotopaxi), ELECGALAPAGOS (Galápagos), EMELNORTE Guayaquil (Empresa Eléctrica Quito, 2014).

SCADA: permite supervisar y controlar procesos además de realizar la recolección de datos.

- OMS: Se encarga del manejo de interrupciones del servicio de energía.
- MWM: Se encarga del manejo, ubicación y envío de las cuadrillas de campo.
- DMS: Es un sistema que tiene desde las líneas de subestación un modelo de red de transformadores de potencia, reguladores entre más elementos de entrada y salida, permiten realizar cálculos en línea. (Castro Vázquez, 2019)

2.9.5. Características generales del SCADA/OMS-MWM/DMS Nacional

Abierta: que tenga la capacidad de integrar partes, productos o aplicaciones necesarias por el contratante a través de la utilización de estándares.

Seguridad: Basándose en la norma NERC CIP 002-009Z< que brinden seguridad física y en la red por medio de estándares.

Escalabilidad: que permita realizar configuraciones que cumplan con las necesidades que van en aumento del Contratante con respecto a cantidad de datos y demás factores. (Ministerio de Electricidad y Energía Renovable, 2012)

Expansibilidad: Sin la necesidad de cambio total de hardware y software que permita la ampliación con la finalidad de cumplir las necesidades de los usuarios finales.

Modularidad/Reutilización: Por medio de la popularización estándar y la reutilización la arquitectura maximizara la cantidad de componentes.

Flexibilidad: que tenga la capacidad de agregar o reemplazar componentes siempre y cuando la solución se adapte a los cambios de requerimientos del negocio.

Mantenibilidad: debe tener la capacidad de reducir costos que tengan que ver con el mantenimiento, con la capacidad de tener datos y despliegues de cada componente.

Usabilidad: Utilizara conceptos que den una apariencia común y corriente sin tener presente el número u origen de aplicaciones inferiores.

Accesibilidad: basándose en documentación que se disponga, tendrá la capacidad de que desarrolladores de terceras partes o de la misma empresa Contratante puedan tener acceso a datos y servicios compartidos de aplicaciones que estén dentro de la solución ofertada.

Estandarización: basándose en las normas IEC promoverá un alto grado de estandarización e intercambio de sus componentes, será posible ingresar o actualizar un módulo sin requerir una actualización general del sistema” (Ministerio de Electricidad y Energía Renovable, 2012).

CAPÍTULO III

3. PROPUESTA

En el presente capítulo se indican los pasos que se siguieron para realizar el diseño e implementación del módulo para la medición y registro de caudales y niveles en los tanques de presión de las centrales Illuchi 1 e Illuchi 2 a ser integrado al sistema SCADA de ELEPCO S.A.

Para la comprensión de cada etapa del sistema se ha subdividido en cinco secciones: la primera es la selección de los equipos, la segunda elaboración de los planos eléctricos de los tableros industriales, la tercera es la conexión de las instalaciones eléctricas y electrónicas, la cuarta es el diseño y construcción del enlace inalámbrico y como quinta y última sección la integración de las señales en el SCADA.

3.1. Selección de los equipos

3.1.1. Requerimientos del equipo de medición

Para la medición de nivel en el tanque 1 y 2 y la medición de caudal en la central de generación 1 los sensores estarán ubicados en un medio en el cual existe la presencia de humedad, temperaturas bajas y la presencia de fuertes vientos estas condiciones serán tomadas en cuenta para obtener una medición fiable.

Tomando él cuenta las condiciones del ambiente se descarta el uso de un sensor invasivo porque la medición no sería la correcta debido a la turbulencia del agua en este sector.

Los sensores no invasivos brindan características adecuadas ya que no tienen partes que están en movimiento, no son afectados por las condiciones del ambiente ya que no están en contacto directo con la variable a medir. Por lo tanto, las características del sensor adecuado deben ser las siguientes:

- En sensor no debe tener contacto con la variable a medir
- Debe soportar bajas temperaturas
- Tener una distancia de medición de 5 metros.
- Deber tener salidas estándar analógicas.

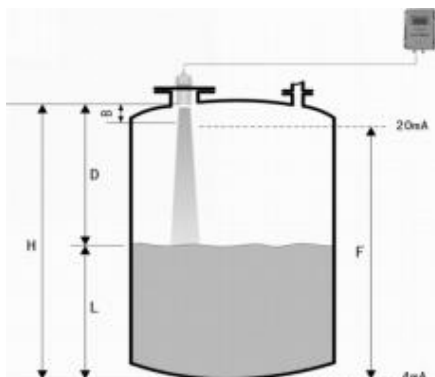
3.1.2. Selección del equipo de medición

a. Sensor de nivel ultrasónico Holykell

Es un sensor que está compuesto por un transductor el cual se encarga de recibir energía mecánica y proporcionar energía eléctrica y un transmisor que se encarga de proporcionar la señal estandarizada. Se puede usar en aplicaciones como: medición del nivel del tanque de líquidos, Medición del depósito de alimentos, tratamiento de aguas residuales e industriales, aceite y medición del nivel de combustible entre otras. (Alibaba, 2020)

Figura 33*Sensor ultrasónico holykell**Nota.* Tomado de (Alibaba, 2020)**Tabla 2***Características del sensor Ultrasónico Holykell*

Rango	1-5 metros
Resolución	3mm
Salida	4-20mA
Fuente de alimentación	12-24VDC ($\leq 120mA$)
Prueba de agua	IP68 IP65
Peso	5Kg
Certificado	ISO IICT6
Zona ciega	0-20cm

Nota. Tomado de (Alibaba, 2020)**Figura 34***Funcionamiento del sensor Ultrasónico Holykell**Nota.* Tomado de (Silver Instruments, 2020)

b. Sensor ultrasónico PEPPERL+FUCHS.

Este sensor es capaz de medir la distancia de un objeto o líquido sin la necesidad de tocarlo, lo que lo hace muy usado en la industria y especialmente en ambientes agresivos, su principio físico se basa en la propagación del sonido, mediante el uso de un transductor ultrasónico se comportan como emisor y receptor, lo que le permite emitir y recibir el pulso ultrasónico y convertirlo en una señal eléctrica por medio de un acondicionamiento interno, el más común es un transductor piezoeléctrico. (Pepperl + Fuchs SE, 2020)

Figura 35

Sensor ultrasónico PEPPERL+FUCHS



Nota. Tomado de (Pepperl+Fuchs Group, 2007)

Tabla 3

Características sensor ultrasónico PEPPERL+FUCHS

Rango	1-5 metros
Resolución	3mm
Salida	4-20mA 0-10V
Fuente de alimentación	10-30VDC
Prueba de agua	IP65
Peso	270Kg
Certificado	ISO IICT6
Zona ciega	0-350mm

Nota. Tomado de (Pepperl+Fuchs Group, 2007)

3.1.3 Requerimientos del equipo de comunicación

Para el diseño y selección de estos equipos se consideran la distancia del tanque 1 con respecto a la central de generación y del tanque 2 con respecto a la central de generación 1.

Entre el tanque 1 y la central 1 existe una línea de vista que favorece un enlace directo. Entre el tanque 2 y la central de generación 1 no existe línea de vista por lo que se colocó una antena repetidora.

Por lo tanto, las características de los radios deben ser las siguientes:

- Poseer puertos serie RS232 o puertos Ethernet para que se puedan conectar con los demás equipos
- Soportar los protocolos industriales.
- Capaces de funcionar en ambientes agresivos.
- Cubrir una distancia de mínimo 3 km.

3.1.4. Selección del equipo de comunicación

a. Mikrotik RouterBOARD Groove 5Hn

Es un radio de pequeñas dimensiones, apto para resistir ambientes a la intemperie, tiene una larga duración y de rápida instalación, tiene un puerto Ethernet 10/100 para PoE

además posee un conector N macho para conectar directamente con una antena. Puede ser usado como cliente inalámbrico o enlaces punto a punto. (MikroTik, 2020)

Figura 36

Mikrotik RouterBOARD Groove 5Hn



Nota. Tomado de (MikroTik, 2020)

Tabla 4

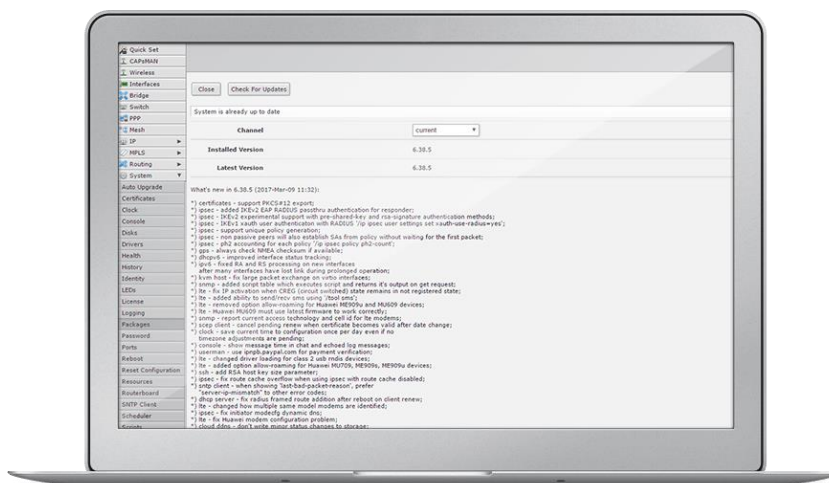
Características Mikrotik

CPU	AR9342
Frecuencia nominal de CPU	600MHZ
Dimensiones	177x44x44mm 193g
Sistema operativo	RouterOS
Tamaño de RAM	64MB
Temperatura	-40°C-70°C
Alimentación de PoE	9-30V DC
Certificación	CE/RED, FCC, IC, EAC, ROHS

Nota. Tomado de (MikroTik, 2020)

Figura 37

Interface de configuración Mikrotik



Nota. Tomado de (MikroTik, 2020)

Los radios Mikrotik RouterBOARD Groove 5Hn tiene un conector N-macho el cual permite conectar antenas omnidireccionales las cuales permiten irradiar la potencia de una manera uniforme y en todas las direcciones, estas antenas envían información en los 360 grados por lo que se puede establecer una comunicación libremente del punto donde se encuentra, puesto que no es necesario orientarla.

Figura 38

Antena y Radio Mikrotik



Nota. Tomado de (Pepperl+Fuchs Group, 2007)

Están construidas para poder conectarse con dispositivos que tengan la posibilidad de contar con antenas removibles. (Informática Moderna, 2020)

b. Modulo RF FC-201/SP

Para realizar la implementación del SCADA es necesario que las señales del caudal se encuentren en el armario principal de la central de generación Illuchi 1, debido a que es una zona peatonal y concurrida se utilizó transmisores de RF capaz de soportar interfaz RS232.

Figura 39

Friendcom, "RF FC201/SP datasheet"

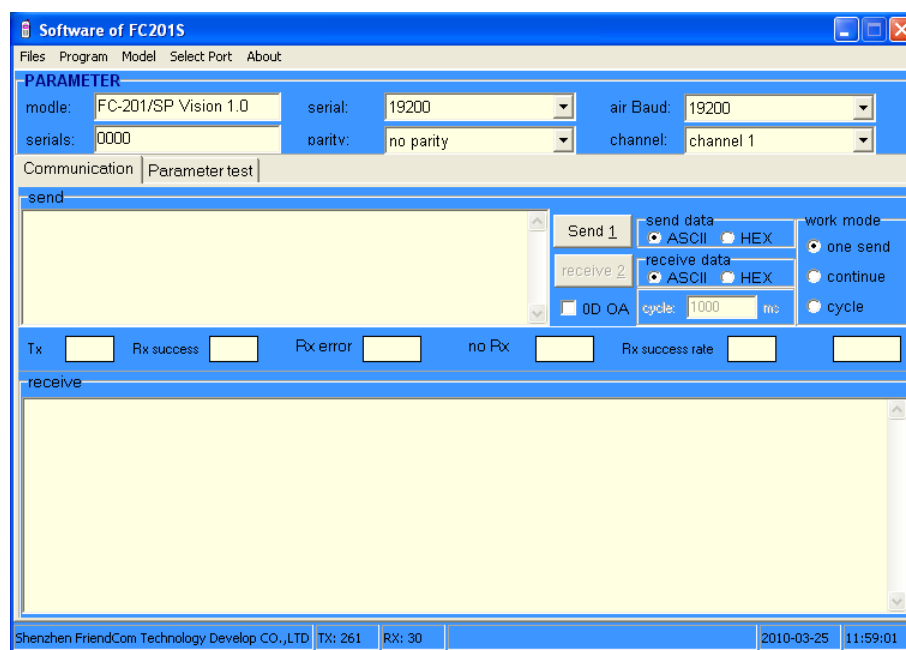


Nota. Tomado de (Shenzhen Friendcom Telecom Co.,Ltd., 2010)

Es un transmisor, se configuran los parámetros para la comunicación como: Velocidad de transmisión, bit de parada, bits de datos, y canal, esto es posible con el software que viene con el transmisor.

Figura 40

Interface de configuración FC201S



Nota. Tomado de (Shenzhen Friendcom Telecom Co.,Ltd., 2010)

A continuación, se presentará las características del módulo de transmisión.

Tabla 5

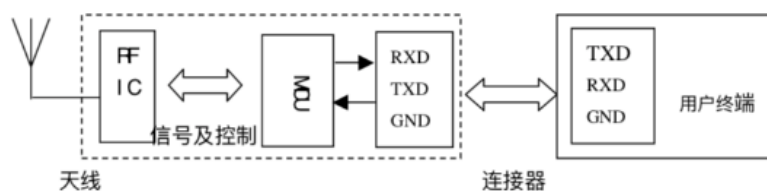
Características del Módulo RF FC-201/SP

Método de modulación	FSK
Frecuencia de trabajo	433 MHz, optimizado para 315 MHz, 868 MHz y 915 MHz
Velocidad	1.2 Kbps – 19.2 Kbps
Poder de Transmisión:	40mW
Temperatura de Trabajo	-25 °C a 60 °C

Nota. Tomado de (Shenzhen Friendcom Telecom Co.,Ltd., 2010)

Figura 41

Diagrama esquemático de la aplicación del módulo de transmisión de datos inalámbrico FC-201/SP



Nota. Tomado de (Shenzhen Friendcom Telecom Co.,Ltd., 2010)

c. USR-TCP232-410S

Este equipo cambia datos TCP/UDP A RS232 y RS485 lo cual permite que el dispositivo realice transmisiones bidireccionales entre RS232 / RS485 y Ethernet, se pueden utilizar los puertos RS232 / RS485 al mismo tiempo y no existirá conflicto entre si (Jinan USR IOT Technology, 2020)

Figura 42*Conversor de Ethernet a serie*

Nota. Tomado de (Jinan USR IOT Technology, 2020)

Figura 43*Puertos del conversor de Ethernet a serie*

Nota. Tomado de (Jinan USR IOT Technology, 2020)

Tabla 6*Características USR-TCP232-410S*

Procesador	Cortex-M4
Frecuencia básica	120MHz
Puerto Ethernet	1
Interfaz puerto Ethernet	8 pines rj45
Velocidad Ethernet	Detección automática de 10/100 Mbps
Protocolo de red	IP, TCP, UDP, DHCP, DNS, HTTP, ARP, ICMP Web socket, HTTPD Client
Puertos seriales	2
Interfaz puertos serie	RS-232 RS-485* A+, B-
Velocidad de transmisión puertos serie	RS-232: 600 bps ~ 256K bps RS-485: 600 bps ~ 1024K bps
Alimentación	DC 5 ~ 36V
dimensiones	90 x 84 x 25 mm

Nota: Tomado de (Jinan USR IOT Technology, 2020)

Figura 44

Interfaz de configuración del convertor de Ethernet a serie

Nota. Tomado de (Jinan USR IOT Technology, 2020)

3.1.5. Requerimientos de los equipos de control y registro de datos

Para la adquisición de datos, normalización de las señales de los equipos de medición y conexión con los equipos de comunicación se requiere la utilización de un controlador lógico programable que cumple con las características mencionadas, a su vez si en un futuro se requiere incorporar equipos de medición y actuación estará disponible.

Por lo tanto, las características del sensor adecuado deben ser las siguientes:

- Contar con puertos de comunicación RS232 O RS485
- Tolerar ambientes agresivos
- Soportar protocolos industriales MODBUS RTU
- Poseer entradas analógicas.
- Montaje en riel DIN

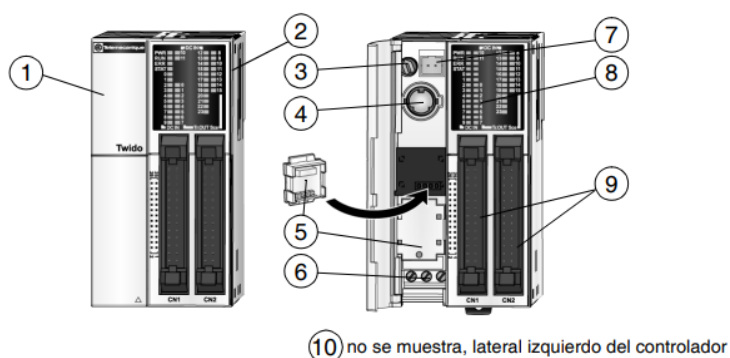
3.1.6. Selección de los equipos de control y registro de datos

a. PLC Twido-twdlmda20dtk

En la gama de los autómatas TWIDO existen dos tipos los compactos y modulares en este caso el modelo twdlmda20dtk es un controlador modular a continuación se especifican cada una de sus partes

Figura 45

PLC Twido-twdlmda20dtk



(10) no se muestra, lateral izquierdo del controlador

Nota. Tomado de (Schneider Electric, 2019)

Tabla 7

Partes PLC Twido-twdlmda20dtk

NÚMERO	DESCRIPCIÓN
1	Tapa con bisagra
2	Conector de ampliación
3	Potenciómetro analógico
4	Puerto serie 1
5	Cubiertas de los cartuchos
6	Terminales de fuente de alimentación de 24 VCC
7	Conector de entrada de tensión analógica
8	LED
9	Terminales de E/S
10	Conector de comunicaciones

Nota. Tomado de (Schneider Electric, 2019)

Tabla 8*Características generales PLC Twido-twdlmda20dtk*

Controlador	twdlmda20dtk
Temperatura de funcionamiento	0-55°C
Temperatura de almacenamiento	-25 a 70°C
Grado de contaminación	2(IEC60664)
Grado de protección	IP20
Peso	140g
Tensión de alimentación	24 VDC

Nota. Tomado (Schneider Electric, 2019)

3.2. Elaboración de los planos eléctricos de los gabinetes industriales

Para el diseño, cableado e instalación de los gabinetes industriales se requiere contar con los equipos, estructura y herramientas seleccionadas, además que cada gabinete debe contar con su plano el mismo que debe cumplir normas propias de la institución para lo cual se recibió el apoyo de los ingenieros del departamento de generación, de esta forma se realizaron los planos para los gabinetes ubicados en el tanque de presión 1, en la central de generación1. Bajo requerimientos de la institución “ELEPCO” los planos realizados son:

- Plano de distribución de los gabinetes.
- Plano de instrumentación
- Plano de comunicaciones

3.3. Conexión de las instalaciones eléctricas y electrónicas

Para la mejor comprensión esta sección se dividió en dos etapas: conexiones de las instalaciones eléctricas y electrónicas en la central de generación Illuchi 1, conexiones de las instalaciones eléctricas y electrónicas en el tanque de presión 1.

3.3.1. Conexione de las instalaciones eléctricas y electrónicas en la central de generación

Illuchi 1.

Se requiere conocer el caudal que ingresa a las centrales de generación para ello se midió el nivel de agua en dos canales que se indican en la figura 45 que se encuentra a la salida de las turbinas de la central de generación Illuchi 1 ya que el agua turbinada de la central 1 es aprovechado por la central 2 por ende al medir el caudal de salida de la central 1 se conoce el caudal de entrada y salida de la central 2.

Figura 46

Canales a la salida de la central de generación 1



Para la colocación de los sensores ultrasónicos se diseñó y realizo dos soportes de acero inoxidable y tapas de protección para cubrir los mismos, para la instalación de los soportes se utilizó tornillos y tacos Fisher f8.

Figura 47

Diseños de los soporte

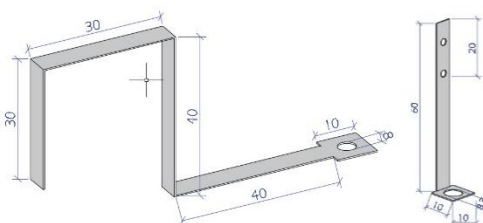
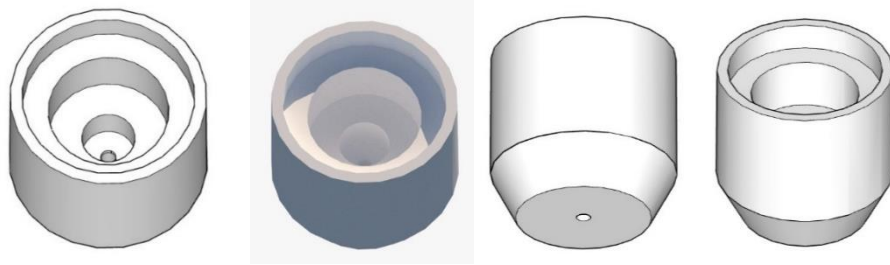


Figura 48

Diseño de los protectores de los sensores

**Figura 49**

Protectores de los sensores



Se diseñó el soporte donde se colocó el gabinete, el cual se encuentra a 2 metros de la ubicación de los sensores, debido a que la superficie es de tierra es cabo a una profundidad de 50cm para su colocación.

Figura 50

Diseño soporte del gabinete

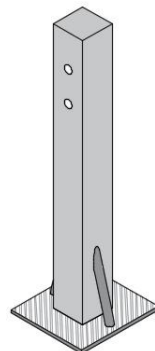


Figura 51

Soporte del gabinete

**Figura 52**

Excavación para colocar el soporte del gabinete



En la zona donde va el gabinete no existía energía eléctrica se realizó en las conexiones para energizar el mismo, se cavo 5m a una profundidad de 20cm para pasar manguera negra de ½" la cual contiene los cables fase y neutro.

Figura 53

Excavación para pasar energía al gabinete



Figura 54

Paso de los cables de energía por la manguera



Para el Cableado del sensor se realizó el paso del cable de tres hilos por una manguera BX de ½ pulgada que lo protege, este ingresó al gabinete para ubicar el cable en las borneras tipo clamp.

Figura 55

Conexión del sensor de nivel



Se realizó el cableado y montaje de los elementos que forman parte del gabinete, este montaje se realizó basado en planos realizados previamente en donde constan los materiales dimensionamiento y ubicación de cada uno de ellos.

Se colocó el riel DIN en el gabinete y la conexión de todos los materiales basándose en los planos, las conexiones se realizaron usando cable unifilar numero 18 a los cuales se añadió terminales tipo punta.

Figura 56

Gabinete



3.3.2. Programación del PLC

Para realizar la programación del PLC se instaló la máquina virtual VMware Workstation Pro para en esta máquina instalar Windows XP Professional debido a que se los controladores lógicos programables requieren el programa TwidoSuite y los drivers del cable conversor USB to RS485 son compatibles con esta versión de Windows.

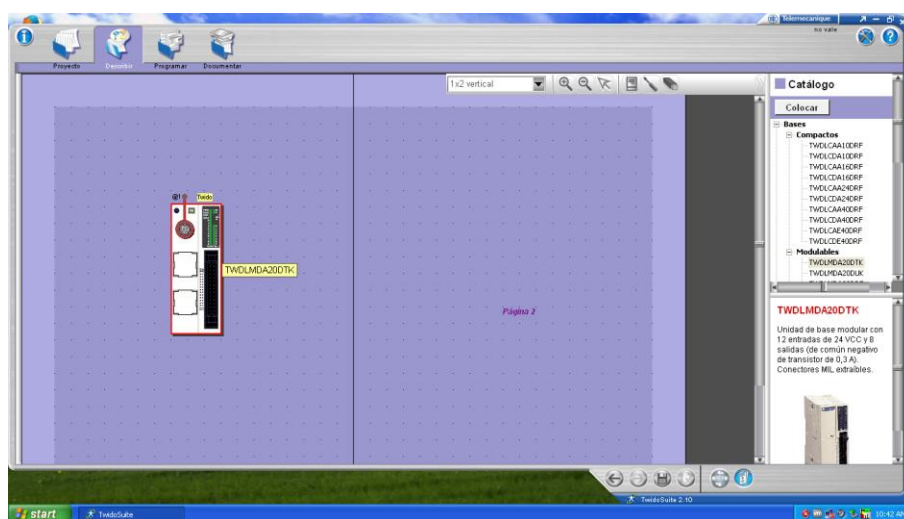
El programa twidoSuite es un entorno de desarrollo para crear programas de controladores lógicos programables el cual permite desarrollar los programas en tres distintos lenguajes: lenguaje de lista de instrucciones, diagramas ladder logic y lenguaje grafet. Se utilizó el diagrama ladder logic en el cual se usan elementos gráficos los cuales representan las instrucciones del programa.

Para realizar la programación de los controladores lógicos programables se siguieron los siguientes pasos:

- Se coloca el debido nombre a la aplicación
- Se selecciona el modelo correspondiente del autómatas para realizar la programación y simulación.

Figura 57

Bases de twido Suite



Para la adquisición de la señal del sensor se acopla y establece el módulo de señales analógicas TWDAM2HT. Se especifica la dirección de la señal, el tipo y el rango, dependiendo de las características del sensor.

Figura 58

Módulo Analógico TWDAM2HT

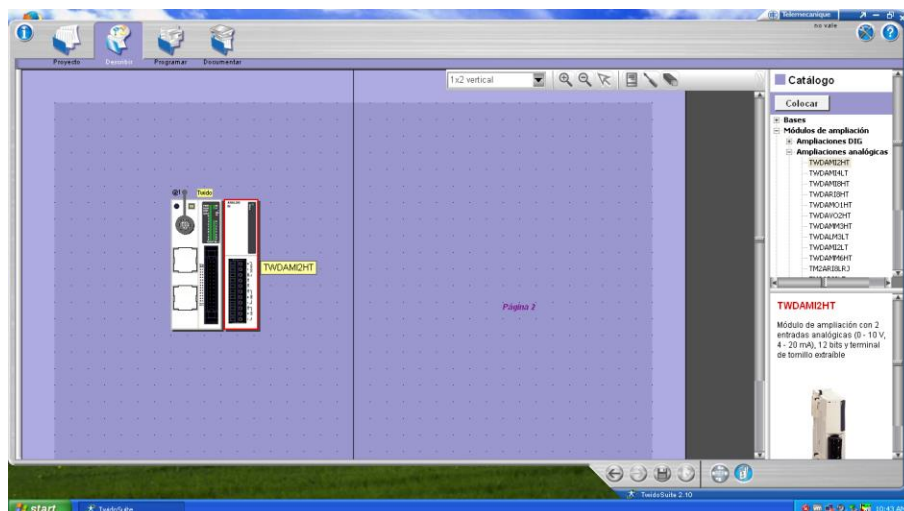


Figura 59

Configuración del módulo analógico

Descripción del módulo	Referencia	TWDAM2HT	Dirección	1			
	Descripción	Módulo de ampliación con 2 entradas analógicas (0 - 10 V, 4 - 20 mA), 12 bits y terminal de tornillo extraíble					
Configuración del módulo	<input type="button" value="Aplicar"/> <input type="button" value="Cancelar"/>						
Tabla de entradas y salidas							
Uso	Dirección	Símbolo	Tipo	Ampliada	Mínimo	Máximo	Unidades
<input checked="" type="checkbox"/>	%IW1.0		4 - 20 mA	Personalizada	0	500	Ninguno
<input checked="" type="checkbox"/>	%IW1.1		4 - 20 mA	Personalizada	0	500	Ninguno

Las señales de caudal estas registradas en el módulo de entradas analógicas.

Tabla 9

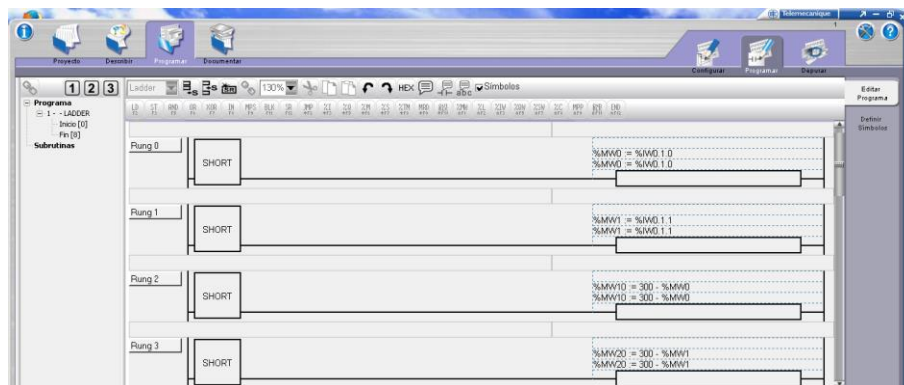
Localidades de las señales en el módulo de entradas analógicas

IW1.0	Caudal 1
IW1.1	Caudal 2

Se desplazó el registro de caudal a las marcas establecidas (mw0, mw1) respectivamente.

Figura 60

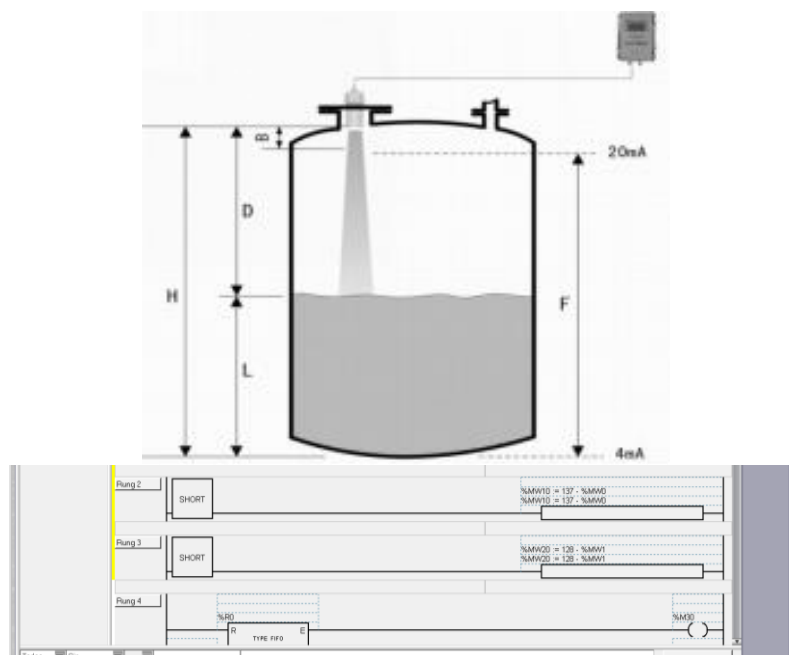
Lectura de los sensores.



Se obtuvo la medida de nivel tomando en cuenta la imagen número 60, el sensor nos da la distancia desde su punto de ubicación hasta la superficie del líquido que se representa con la letra D, se procede a realizar la respectiva resta de H y L para obtener la medida de nivel exacto representada con la letra L, esta medida es almacenada en las marcas mw10 y mw20.

Figura 61

Medida del nivel de agua



Debido a las corrientes de agua se produce un oleaje el cual puede alterar las medidas reales de caudal, por lo que se realizó un filtro de media móvil, que es básicamente tener varias medidas y promediarlas.

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n}$$

Ecuación 9

Arduino

Nota. Tomado (Llamas, 2017)

Para realizar el filtro se tomó una cantidad de 100 medida en registros FIFO (First In – First out) que almacena estos datos y tiene la característica como su nombre lo indica el primer dato que entra será el primero que sale con la señal respectiva de activación.

Figura 62

Implementación de Registro FIFO 1

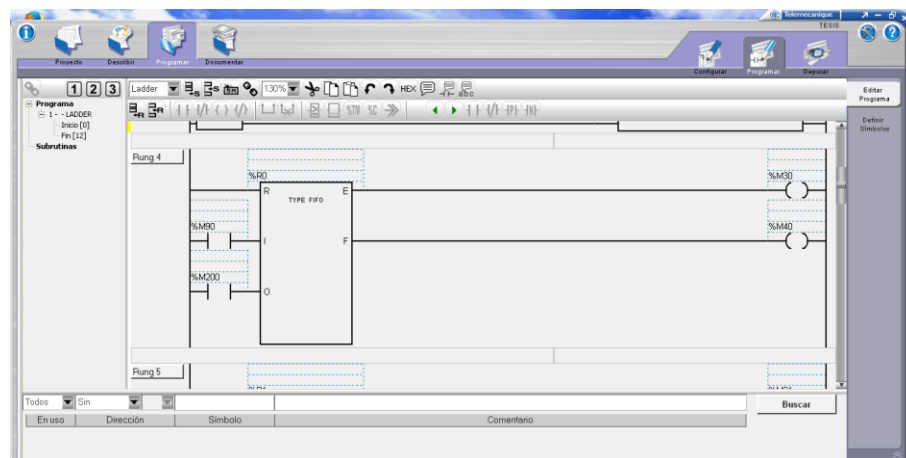
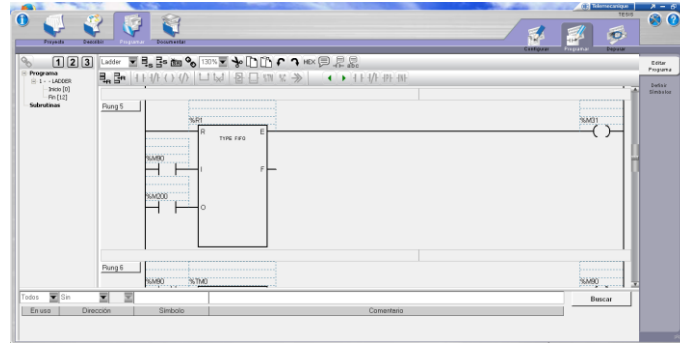
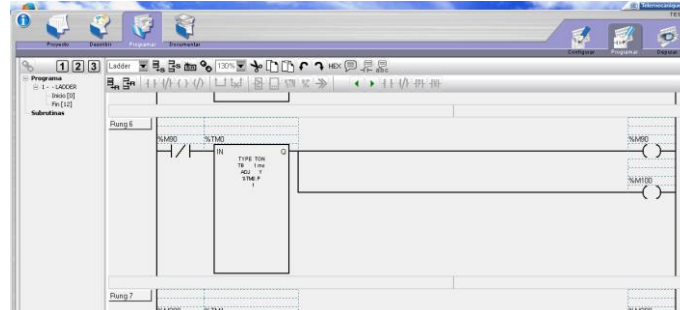
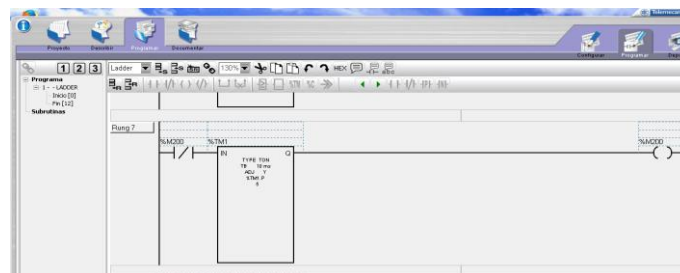


Figura 63*Implementación del Registro FIFO2*

Con la marca M90 se activa la entrada de datos en el registro R1, se realizó con un timer cada 1ms.

Figura 64*Configuración TIMER1*

Con la marca M200 se extraen los datos del registro, se realiza con un timer cada 10 ms.

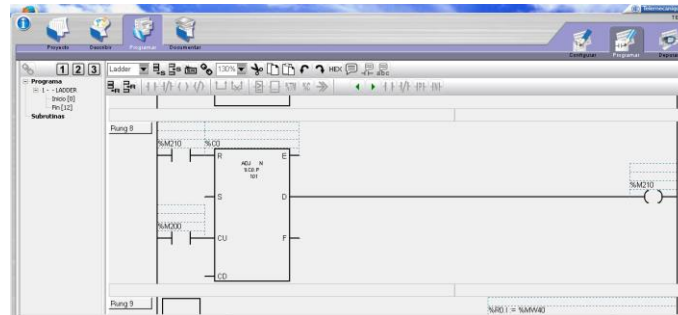
Figura 65*Configuración Timer 2*

Estas operaciones aseguran el ingreso de los datos de las variables cada 1ms y salen cada 10 ms una por una.

Se utilizó un contador de 1 a 101 para tener 100 medidas y obtener el promedio, la señal de activación es la marca m200 la misma que la del señal de timer1, al salir los datos del registro cada 100 ms también se cuenta hasta tener los 100 datos, en ese momento se activa la marca M210.

Figura 66

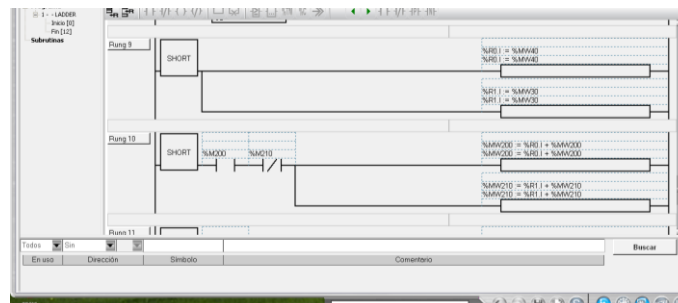
Implementación Contador



Se realizó una suma acumulada en mw200 y mw210 de las medidas conforme las vamos obteniendo.

Figura 67

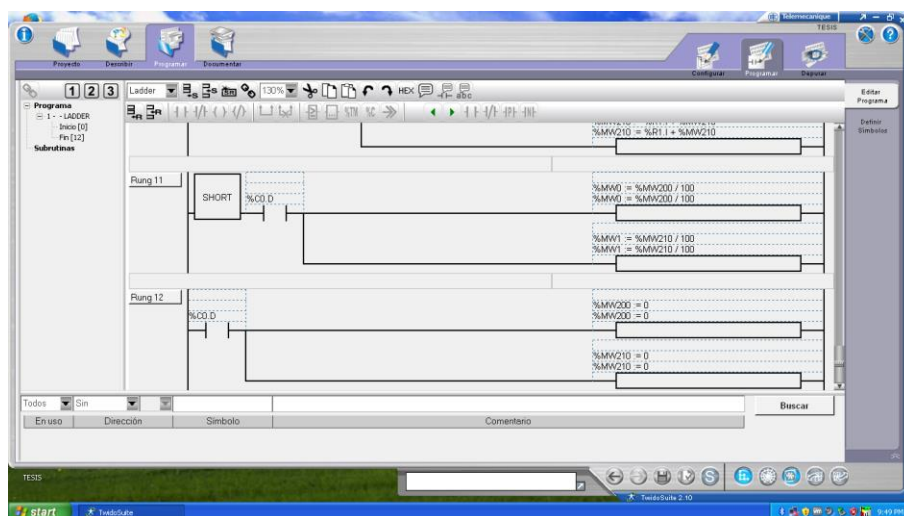
Programación suma acumulada



Obtenida la suma acumulada de 100 valores se calcula el promedio de las medidas con la señal del contador C0.D, con esa señal se calcula el promedio cuando se tenga la cantidad establecida de medidas así se asegura que filtro cumpla su propósito y la medida sea la correcta. Las medidas filtradas se almacenan en MW0 y MW1 respectivamente.

Figura 68

Programación de la señal filtrada.



3.3.3. Conexión de las instalaciones eléctricas y electrónicas en el tanque de presión 1

Se requiere conocer el nivel de agua en el tanque de presión 1 que se indica en la figura número 69.

Figura 69

Tanque de presión 1



Para la colocación del sensor ultrasónico se utilizó un soporte de acero inoxidable que se encontraba en las instalaciones del tanque de presión 1.

Figura 70

Colocación sensor en el tanque de presión 1

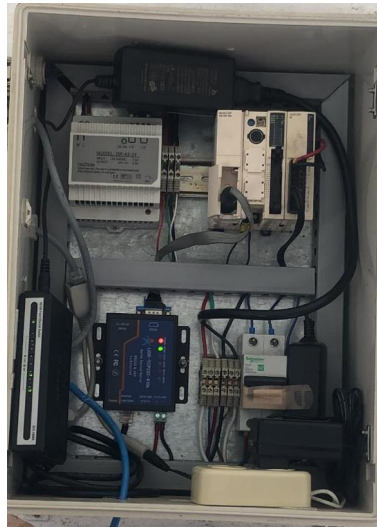


Se realizó el cableado y montaje de los elementos que forman parte del gabinete, este montaje se realizó basado en planos realizados previamente en donde constan los materiales dimensionamiento y ubicación de cada uno de ellos.

Se colocó el riel DIN en el gabinete y la conexión de todos los materiales basándose en los planos, las conexiones se realizaron usando cable unifilar numero 18 a los cuales se añadió terminales tipo punta.

Figura 71

Gabinete colocado en el tanque de presión 1



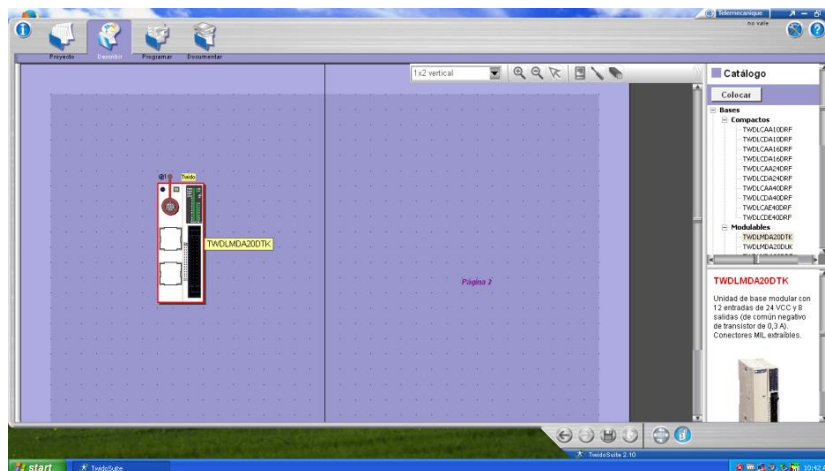
3.3.4. Programación del PLC

Para realizar la programación de los controladores lógicos programables se siguieron los siguientes pasos:

- Se coloca el debido nombre a la aplicación
- Se selecciona el modelo correspondiente del autómata para realizar la programación y simulación.

Figura 72

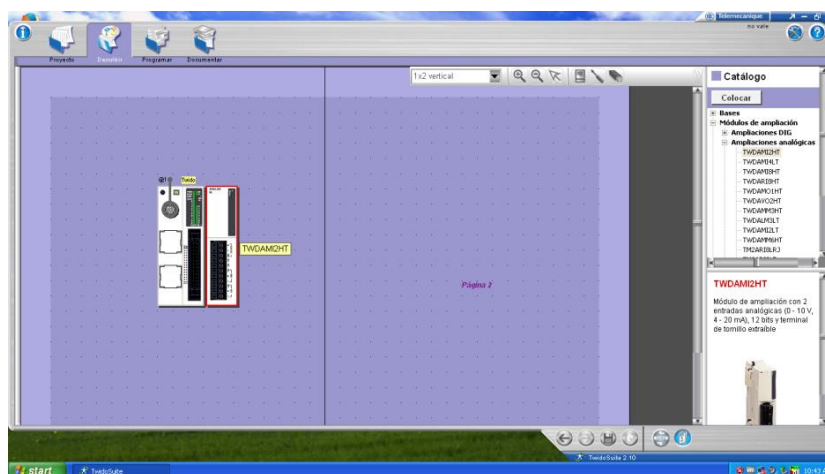
Bases de twido Suite



Para la adquisición de la señal del sensor se acopla y establece el módulo de señales analógicas TWDAM2HT. Se especifica la dirección de la señal, el tipo y el rango, dependiendo de las características del sensor.

Figura 73

Módulo Analógico TWDAM2HT



Las señales de nivel están registradas en el módulo de entradas analógicas.

Tabla 10*Localidad de la señal en el módulo de entradas analógicas*

IW1.0	Nivel
-------	-------

3.4. Diseño y construcción del enlace inalámbrico

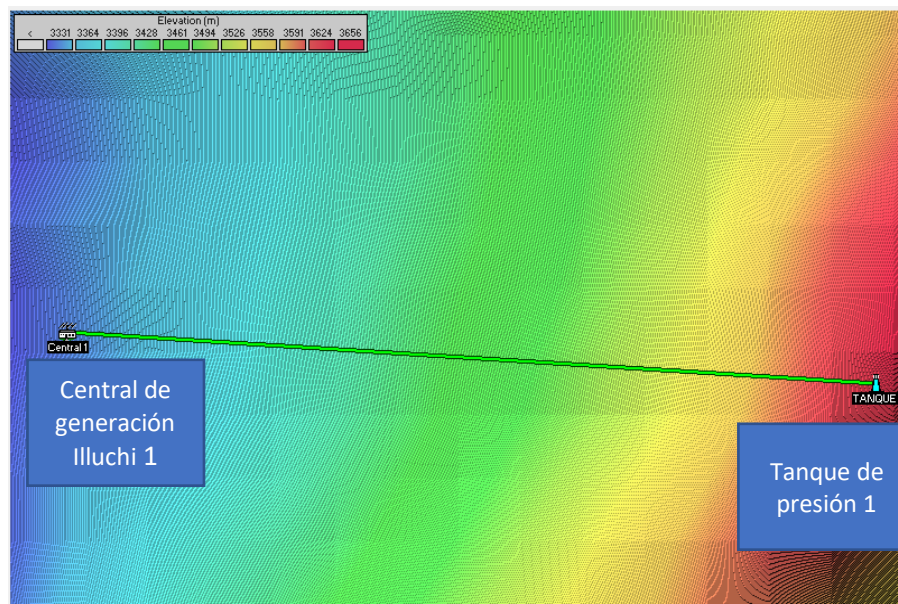
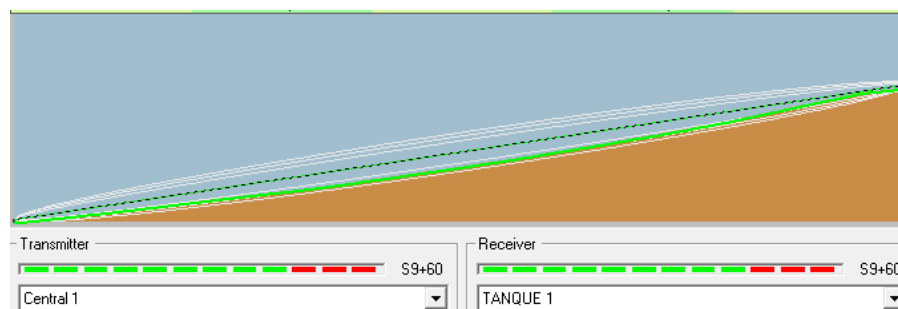
En el presente apartado se realiza en primer lugar el diseño del enlace inalámbrico y ubicación de las antenas, tomando en cuenta la ubicación de los tanques de presión y de las centrales de generación, se garantiza la fiabilidad de la comunicación mediante cálculos de pérdida de espacio libre, relación señal-ruido en cada nodo, obstáculos en la zona de Fresnel y energía irradiada. Para el envío de las señales de nivel y caudal a la unidad de terminal remota adecuada es estrictamente necesario que exista comunicación entre el tanque de presión 1 y la estación de generación eléctrica Illuchi 1, el tanque de presión 2 y la estación de generación eléctrica Illuchi 2 y el gabinete de medición de caudal con el tablero donde se encuentra la unidad terminal remota con el fin de que los datos lleguen de forma adecuada.

Tabla 11*Ubicación geográfica de los puntos de comunicación*

Ubicación	Latitud	Longitud	Altura
Tanque de presión 1	-0,919583	-78,517728	3642,4m
Tanque de presión 2	-0,930906	-78,532707	3330,1m
Central de generación Illuchi 1	-0,918911	-78,528573	3346,1m
Central de generación Illuchi 2	-0,935276	-78,547303	2986,9m
Repetidor	-0,936242	-78,550336	3024,4m

Con las ubicaciones de los tanques y las centrales y la ayuda del software Radio Mobile se determinan los perfiles topográficos de los enlaces como se muestra a continuación:

Enlace 1, está conformado por los nodos: tanque de presión 1 y central de generación Illuchi 1.

Figura 74*Enlace 1***Figura 75***Perfil topográfico del Enlace 1*

Enlace 2, está conformado por los nodos: repetidor y el tanque de presión 2.

Figura 76

Enlace 2

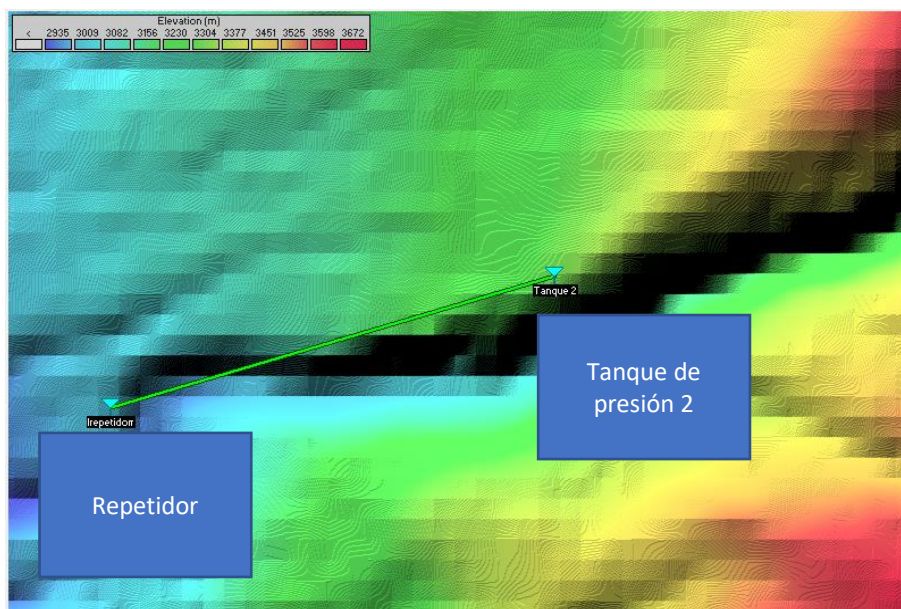
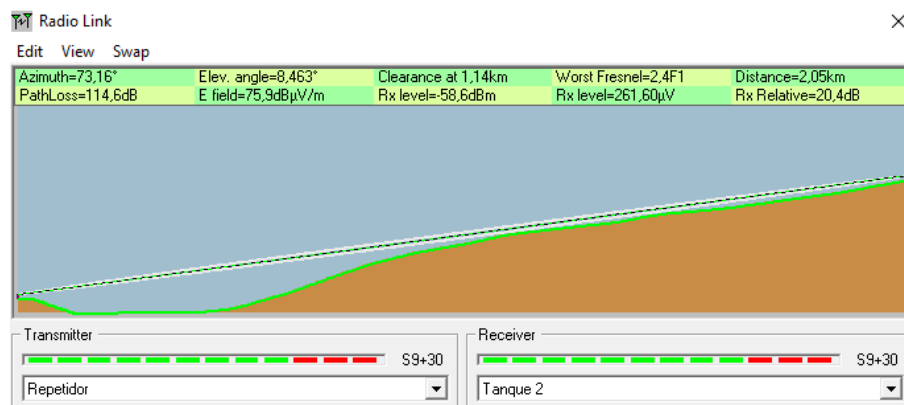
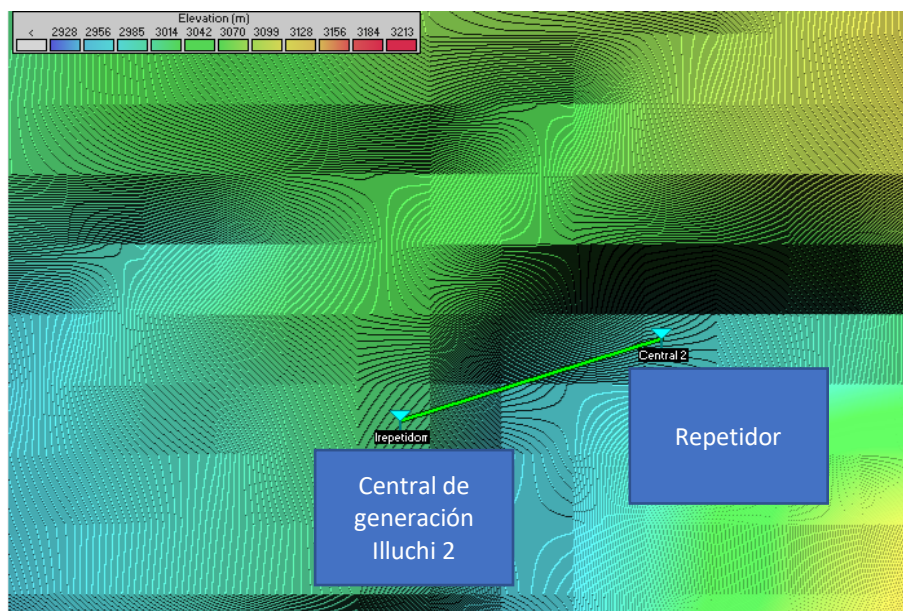
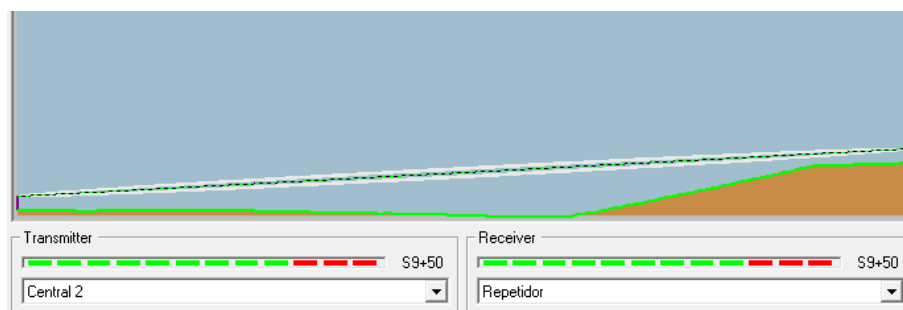


Figura 77

Perfil topográfico del Enlace 2



Enlace 3, está conformado por los nodos: tanque de presión 2 y repetidor.

Figura 78*Enlace 3***Figura 79***Perfil topográfico del Enlace 3*

Los resultados que muestran los perfiles topográficos determinan que existe un enlace correcto, ya que en todos los enlaces existe línea de vista lo que permite enlazar los puntos de forma adecuada.

3.4.1. Análisis de los enlaces

Enlace 1, está conformado por los nodos: tanque de presión 1 y central de generación Illuchi 1, la distancia entre los dos puntos es inferior a 3Km y se tiene línea de vista por lo que se opta por un enlace punto a punto.

Tabla 12

Ubicación geográfica de los puntos del enlace 1

Ubicación	Latitud	Longitud	Altura
Central de generación Illuchi 1	-0,918911	-78,528573	3346,1m
Tanque de presión 1	-0,919583	-78,517728	3642,4m

En el enlace 1 se considera el punto A la Central de generación Illuchi 1 (PA=Central de generación Illuchi 1) y el punto B el tanque de presión 1 (PB= tanque de presión 1).

- **Calculo de Distancia:**

$$d = \sqrt{[1111.32 * (LaPA - LaPB)]^2 + [1111.32 * (LoPA - LoPB)]^2 + \left(\frac{HPA - HPB}{1000}\right)^2}$$

d=Longitud del trayecto radioeléctrico [Km]

LaPA=Latitud PA

LaPB=Latitud PB

LoPA=Longitud PA

LoPB=Longitud PB

HPA=Altitud PA

HPB=Altitud PB

$$d = \sqrt{[111.32 * (-0,918911 + 0,919583)]^2 + [111.32 * (-78,528573 + 78,517728)]^2 + \left(\frac{3346,1 - 3642,4}{1000}\right)^2}$$

$$d = 1,21 \text{ Km}$$

- **Atenuación en el espacio libre:**

$$Lb = 92,42 + 20 \log(f[\text{GHz}]) + 20 \log(d[\text{Km}])$$

Donde:

Lb= Perdida básica de transmisión en el espacio libre [dB]

K= 92,42 Contante de atenuación en 5.8 Ghz

f= Frecuencia [GHz]

d= Distancia [Km]

$$Lb = 92,42 + 20 \log(5,8) + 20 \log(1,2)$$

$$Lb = 109,27[\text{dB}]$$

- **Atenuación Total:**

$$At = Lb + Alluvia + Avegetacion$$

Donde:

At=Atenuación total [dB]

Lb=Perdida básica de transmisión en el espacio libre [dB]

Para obtener la atenuación total en el enlace se deben realizar las siguientes consideraciones geográficas.

Lluvia= Atenuación por lluvia 0.01[dB]

Vegetación= Atenuación por vegetación 0.15[dB]

$$At = 109,27[dB] + 0.01[dB] + 0.15[dB]$$

$$At = 109,43[dB]$$

- **Zona de Fresnel:**

$$Fn = 17.32 \sqrt{\frac{d1 * d2}{f * d}}$$

Donde:

Fn= Lóbulo de cobertura de las antenas que ha de estar libre de obstáculo para que la comunicación entre 2 puntos sea correcta, respecto a la primera capa terrestre.

f= Frecuencia [GHz]

k= 17.32 contante de la velocidad de la luz en [km]

d1= Distancia del transmisor al obstáculo [Km]

d2= Distancia del receptor al obstáculo [Km]

d= Distancia total [Km]

$$Fn = 17.32 \sqrt{\frac{d1 * d2}{f * d}}$$

$$Fn = 17.32 \sqrt{\frac{0,9 * 0,3}{5,8 * 1,2}}$$

$$Fn = 1,29$$

- **Angulo Azimuth:**

$$\text{azimuth} = \tan^{-1}(\theta)$$

$$\theta = \frac{\Delta \text{longitud}}{\Delta \text{latitud}}$$

Donde:

Azimuth= Es el ángulo que indicara el punto exacto en el que se debe fijar la antena con respecto al plano horizontal. [°]

θ = Diferencia entre la variacion de longitud y latitud entre los puntos.

$$\theta = \frac{LoPA - LoPB}{LaPA - LaPB}$$

$$\theta = \frac{-78,528573 + 78,517728}{-0,918911 + 0,919583}$$

$$\theta = 93,54^\circ$$

- **Angulo de elevación:**

Elevación= $\tan^{-1}(\theta)$

$$\theta = \left| \frac{\Delta \text{altura}}{\text{distancia}} \right|$$

Donde:

Elevación = Es el ángulo que indica la inclinación de la antena con respecto al plano vertical. [°]

θ = Diferencia entre la variacion de altiras y la distancia entre los puntos.

$$\theta = \left| \frac{HPA - HPB}{d} \right|$$

$$\theta = \left| \frac{3346,2 - 3646,4m}{1,2} \right|$$

$$\text{Elevación} = \tan^{-1}(0,250)$$

$$\text{Elevación} = 14^\circ$$

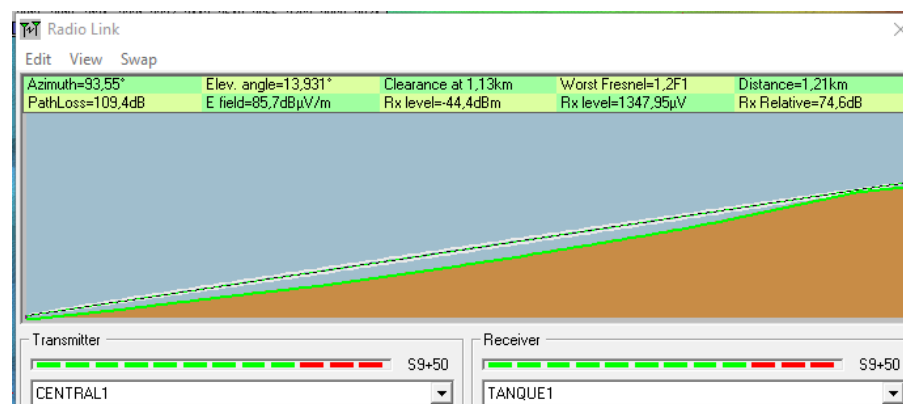
Tabla 13

Comparación de los valores del enlace 1

Parámetros	Calculados	Radio Mobile
Atenuación total	114,06[dB]	-
Zona de Fresnel	1,2F1	1,2F1
Longitud del trayecto radioeléctrico	1,2[Km]	1,21[Km]
Azimut	93,54°	93,55°
Perdida básica de transmisión en el espacio libre	109,27[dB]	109,4[dB]
Elevación	14°	13,659°

Figura 80

Análisis del enlace 1



Enlace 2, está conformado por los nodos: repetidor y el tanque de presión 2.

Tabla 14

Ubicación geográfica de los puntos del enlace 2

Ubicación	Latitud	Longitud	Altura
Repetidor	-0,936242	-78,550336	3024,4m
Tanque de presión 2	-0,930906	-78,532707	3330,1m

En el enlace 2 se considera el punto A, el repetidor y el punto B el tanque de presión 2.

- **Calculo de Distancia:**

$$d = \sqrt{[111.32 * (LaPA - LaPB)]^2 + [111.32 * (LoPA - LoPB)]^2 + \left(\frac{HPA - HPB}{1000}\right)^2}$$

Donde:

d=Longitud del trayecto radioeléctrico [Km]

LaPA=Latitud PA

LaPB=Latitud PB

HPA=Altitud PA

HPB=Altitud PB

$$d = \sqrt{[111.32 * (-0,936242 + 0,9309069)]^2 + [111.32 * (-78,550336 + 78,5327079)]^2 + \left(\frac{3024,4 - 3330,1}{1000}\right)^2}$$

$$d = 2,04[Km]$$

- **Atenuación en el espacio libre:**

$$Lb = 92,42 + 20 \log(f[GHz]) + 20 \log(d[Km])$$

Donde:

Lb= Perdida básica de transmisión en el espacio libre [dB]

K= 92,42 Contante de atenuación en 5.8 Ghz

f= Frecuencia [GHz]

d= Distancia [Km]

$$Lb = 92,42 + 20 \log(5,8) + 20 \log(2,04)$$

$$Lb = 113,9[dB]$$

- **Atenuación Total:**

$$At = Lb + Alluvia + Avegetacion$$

Donde:

At=Atenuación total [dB]

Lb=Perdida básica de transmisión en el espacio libre [dB]

Para obtener la atenuación total en el enlace se deben realizar las siguientes consideraciones geográficas.

Lluvia= Atenuación por lluvia 0.01[dB]

Vegetación= Atenuación por vegetación 0.15[dB]

$$At = 113,9[dB] + 0,01[dB] + 0,15[dB]$$

$$At = 114,06[dB]$$

- **Zona de Fresnel:**

$$Fn = 17.32 \sqrt{\frac{d1 * d2}{f * d}}$$

Donde:

Fn= Lóbulo de cobertura de las antenas que ha de estar libre de obstáculo para que la comunicación entre 2 puntos sea correcta, respecto a la primera capa terrestre.

f= Frecuencia [GHz]

k= 17.32 contante de la velocidad de la luz en [km]

d1= Distancia del transmisor al obstáculo [Km]

d_2 = Distancia del receptor al obstáculo [Km]

d = Distancia total [Km]

$$Fn = 17.32 \sqrt{\frac{2,03 * 0,1}{5,8 * 2,04}}$$

$$Fn = 2,25$$

- **Angulo Azimuth:**

$$azimuth = \tan^{-1}(\theta)$$

$$\theta = \frac{\Delta longitud}{\Delta latitud}$$

Donde:

Azimuth= Es el ángulo que indicara el punto exacto en el que se debe fijar la antena con respecto al plano horizontal. [°]

θ = Diferencia entre la variacion de longitud y latitud entre los puntos.

$$\theta = \frac{LoPA - LoPB}{LaPA - LaPB}$$

$$\theta = \frac{-78,550336 + 78,532707}{-0,936242 + 0,930906}$$

$$\theta = 73,6^\circ$$

- **Angulo de elevación:**

Elevación= $\tan^{-1}(\theta)$

$$\theta = \left| \frac{\Delta altura}{distancia} \right|$$

Donde:

Elevación= Es el ángulo que indica la inclinación de la antena con respecto al plano vertical. [°]

θ = Diferencia entre la variación de alturas y la distancia entre los puntos.

$$\theta = \left| \frac{3024,4 - 3330,1}{1200} \right| = 0,154$$

$$\text{Elevación} = \tan^{-1}(0,154)$$

$$\text{Elevación} = 8,75^\circ$$

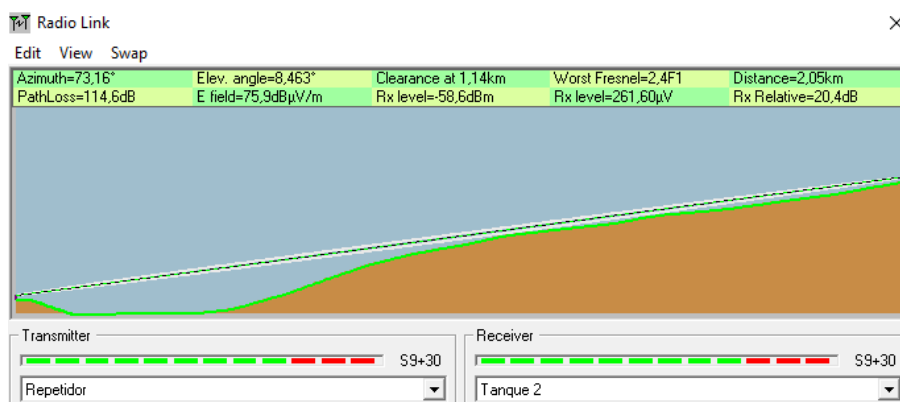
Tabla 15

Comparación de los valores del enlace 2

Parámetros	Calculados	Radio Mobile
Atenuación total	114,06[DB]	-
Zona de Fresnel	2,25F1	2,4F1
Longitud del trayecto radioeléctrico	2,04[Km]	2,05[Km]
Azimut	73,6	73,16°
Perdida básica de transmisión en el espacio libre	113,9[DB]	114,6[DB]
Elevación	8,7°	8,463°

Figura 81

Análisis del enlace 2



Enlace 3, está conformado por los nodos: tanque de presión 2 y repetidor.

Tabla 16*Ubicación geográfica de los puntos del enlace 3*

Ubicación	Latitud	Longitud	Altura
Central de generación Illuchi 2	-0,935276	-78,547303	2986,9m
Repetidor	-0,936242	-78,550336	3024,4m

En el enlace 3 se considera el punto A la Central de generación Illuchi 2 y el punto B el repetidor.

- **Calculo de Distancia:**

$$d = \sqrt{[111.32 * (LaPA - LaPB)]^2 + [111.32 * (LoPA - LoPB)]^2 + \left(\frac{HPA - HPB}{1000}\right)^2}$$

d=Longitud del trayecto radioeléctrico [Km]

LaPA=Latitud PA

LaPB=Latitud PB

HPA=Altitud PA

HPB=Altitud PB

$$d = \sqrt{[111.32 * (-0,935276 + 0,936242)]^2 + [111.32 * (-78,547303 + 78,550336)]^2 + \left(\frac{2986,9 - 3024,4}{1000}\right)^2}$$

$$d = 0,354[Km]$$

- **Atenuación en el espacio libre:**

$$L_b = 92,42 + 20 \log(f[GHz]) + 20 \log(d[Km])$$

Donde:

Lb= Perdida básica de transmisión en el espacio libre [dB]

$K = 92,42$ Constante de atenuación en 5.8 Ghz

$f =$ Frecuencia [GHz]

$d =$ Distancia [Km]

$$L_b = 92,42 + 20 \log(5,8) + 20 \log(0,354)$$

$$L_b = 98,57[\text{dB}]$$

- **Atenuación Total:**

$$A_t = L_b + A_{\text{lluvia}} + A_{\text{vegetación}}$$

Donde:

$A_t =$ Atenuación total [dB]

$L_b =$ Pérdida básica de transmisión en el espacio libre [dB]

Para obtener la atenuación total en el enlace se deben realizar las siguientes consideraciones geográficas.

Lluvia= Atenuación por lluvia 0.01[dB]

Vegetación= Atenuación por vegetación 0.15[dB]

$$A_t = 98,57[\text{dB}] + 0,01[\text{dB}] + 0,15[\text{dB}]$$

$$A_t = 98,73[\text{dB}]$$

- **Zona de Fresnel:**

$$F_n = 17.32 \sqrt{\frac{d_1 * d_2}{f * d}}$$

Donde:

F_n = Lóbulo de cobertura de las antenas que ha de estar libre de obstáculo para que la comunicación entre 2 puntos sea correcta, respecto a la primera capa terrestre.

f = Frecuencia [GHz]

k = 17.32 constante de la velocidad de la luz en [km]

d_1 = Distancia del transmisor al obstáculo [Km]

d_2 = Distancia del receptor al obstáculo [Km]

d = Distancia total [Km]

$$F_n = 17.32 \sqrt{\frac{0,014 * 0,336}{5,8 * 0,35}}$$

$$F_n = 5,8$$

- **Angulo Azimuth:**

$$azimuth = \tan^{-1}(\theta)$$

$$\theta = \frac{\Delta longitud}{\Delta latitud}$$

Donde:

Azimuth= Es el ángulo que indicara el punto exacto en el que se debe fijar la antena con respecto al plano horizontal. [°]

θ = Diferencia entre la variacion de longitud y latitud entre los puntos.

$$\theta = \frac{LoPA - LoPB}{LoPA - LaPB}$$

$$\theta = \frac{-78,547303 + 78,550336}{-0,935276 + 0,936242}$$

$$\theta = 72,1^\circ$$

- **Angulo de elevación:**

Elevación= $\tan^{-1}(\theta)$

$$\theta = \left| \frac{\Delta altura}{distancia} \right|$$

Donde:

Elevación= Es el ángulo que indica la inclinación de la antena con respecto al plano vertical. [°]

$\theta =$ Diferencia entre la variación de alturas y la distancia entre los puntos.

$$\theta = \left| \frac{HPA - HPB}{d} \right|$$

$$\theta = \left| \frac{2986,9 - 3017,6}{354} \right|$$

$$\theta = 0,087$$

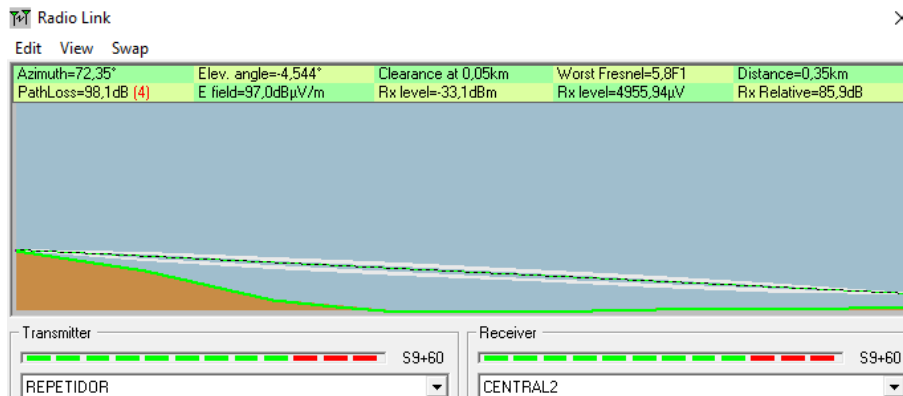
$$\text{Elevación} = \tan^{-1}(0,087)$$

$$\text{Elevación} = 4,97^\circ$$

Tabla 17

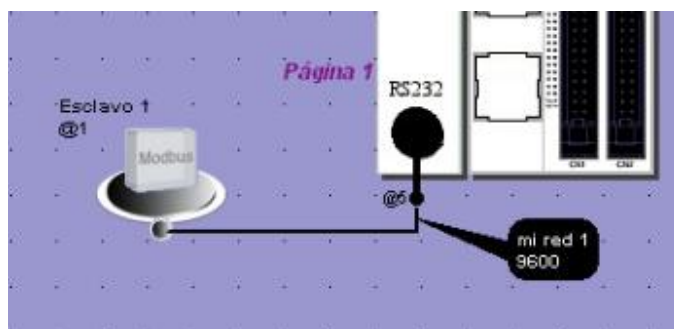
Comparación de los valores del enlace 3

Parámetros	Calculados	Radio Mobile
Atenuación total	98,73[dB]	-
Zona de Fresnel	5,8F1	5,8F1
Longitud del trayecto radioeléctrico	0,354[Km]	0,35[Km]
Azimut	72,1°	72,3°
Perdida básica de transmisión en el espacio libre	98,57[dB]	98,1[dB]
Elevación	4,97°	4,54°

Figura 82*Análisis del enlace 3*

3.4.2. Instalación del enlace inalámbrico entre tanque de presión 1 y la central de generación Illuchi 1 y enlace inalámbrico entre tanque de presión 2 y la central de generación Illuchi 2

Se reserva el puerto serial ubicado en el módulo de comunicación del PLC donde se establece la comunicación MODBUS RTU entre el PLC y el radio.

Figura 83*Configuración de MODBUS*

Se creó un esclavo Modbus 1 donde se especifica el tipo de comunicación en este caso Modbus y la dirección del esclavo

Figura 84

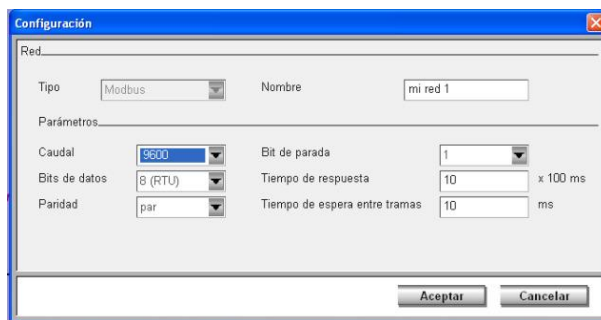
Declaración de MOSBUS



Se realizó la configuración de la red donde se especifican los parámetros de comunicación.

Figura 85

Configuración de parámetros de comunicación



Para el envío de la señal se utilizó radios Mikrotik RouterBOARD Groove 5Hn que recibe señales TCP/UDP y la señal que el PLC proporciona es una señal RS232 para realizar esta conversión se utilizó un convertor USB-TCP232-410S al cual ingresa una señal rs232 y sale una señal TCP/UDP. Para realizar la configuración del convertor se lo debe conectar al computador mediante un cable Ethernet, posteriormente ingresar el navegador y digital la dirección IP que viene por defecto y configurar los parámetros:

Figura 86

Configuración de parámetros del conversor USR-TCP232-410S

La señal que se obtiene es TCP/UDP esta, ingresa con el cable Ethernet saliente del conversor USR-TCP232-410S al radio Mikrotik.

Para la configuración de los radios Mikrotik Groove es necesario en primer lugar ingresar la dirección IP por default (192.168.88.1) se mostrará la siguiente interface.

Figura 87

Interface de configuración Radio Groove

Se cambió la dirección IP por defecto y se colocó la dirección IP 192.9.1.3.

Figura 88

Cambio de dirección IP.

The screenshot shows a network configuration interface. On the left is a sidebar menu with options: Switch, Bridge, PPP, Mesh, IP, ARP, Accounting, Addresses, DHCP Client, DHCP Relay, DHCP Server, DNS, and Firewall. The 'Addresses' option is selected, and a red arrow points to it. The main area is titled 'Address List' and contains a table with one entry. The 'Add New' button is highlighted with a red box.

Address List					
1 item					
	Address	Network	Interface		
;;; default LAN address					
- D	192.168.88.1/24	192.168.88.0	ether2		

- Configuración de la radio como CPE (Dispositivo cliente el cual se conectará a un punto de acceso)
- Se selecciona el Modo Bridge que agrega todas las interfaces al puente, con lo cual remitirá los paquetes de datos de capa 2 (actúa como un concentrador, conmutador)
- Se agrega la dirección IP ya establecida y la dirección del Gateway 192.9.1.1 como se observa en la figura 79.
- Identificación de la antena con un nombre para poder reconocer en la red en este caso será de "central 1" y "Tanque 1".

Figura 89

Configuración de Radio modo puente.

The screenshot shows a configuration page for a CPE (Customer Premises Equipment) in 'Quick Set' mode. The 'Mode' is set to 'Bridge'. Under the 'Bridge' section, 'Address Acquisition' is set to 'Static', with an 'IP Address' of '192.9.1.3/24' and a 'Gateway' of '192.9.1.1'. The 'System' section shows 'Router Identity' as 'central1'. There are buttons for 'Check For Updates', 'Apply Configuration', and 'Reset Configuration'. A watermark for 'Activar Windows' is visible at the bottom.

a. Colocación de las antenas

Para la colocación de las antenas se tomó en cuenta los valores obtenidos en el diseño de cada uno de los enlaces como se muestra en las figuras 91, 92, 93, 94, 95 y tablas 18, 19, 20, 21 y 22, de esta manera se asegura que existe una comunicación fiable.

Central de generación Illuchi 1

Tabla 18

Ubicación de la antena en la central de generación Illuchi 1

Parámetros	Valores
Azimut	93,54°
Elevación	14°
Altura	8m

Figura 90

Colocación antena central de generación Illuchi 1

**b. Central de generación Illuchi 2****Tabla 19**

Ubicación de la antena en la central de generación Illuchi 2

Parámetros	Valores
Azimut	72,1°
Elevación	4,97°
Altura	8m

Figura 91

Colocación antena central de generación Illuchi 2



c. Tanque de presión 1

Tabla 20

Ubicación de la antena en el tanque de presión 1

Parámetros	Valores
Azimut	273,55°
Elevación	14°
Altura	8m

Figura 92

Colocación de antena tanque 1



d. Tanque de presión 2

Tabla 21

Ubicación de la antena en el tanque de presión 2

Parámetros	Valores
Azimut	253,16°
Elevación	8,708°
Altura	8m

Figura 93

Colocación de antena tanque 2



e. Repetidor

Tabla 22

Ubicación del repetidor

Parámetros	Calculados
Azimut	73,6
Elevación	8,7°
Altura	8m

Figura 94

Colocación de repetidor



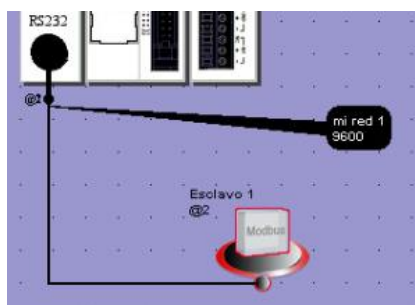
3.4.3. Instalación del enlace inalámbrico entre el gabinete de medición de caudal al tablero de adquisición de datos

a. Configuración de la comunicación en el PLC

Se reserva el puerto serial ubicado en el módulo de comunicación del PLC donde se establece la comunicación MODBUS RTU entre el PLC y el radio.

Figura 95

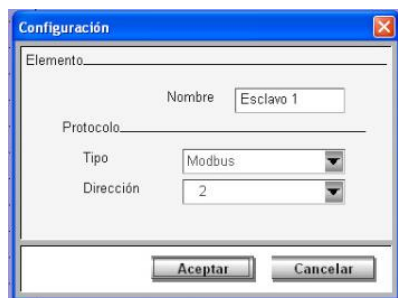
Configuración de MODBUS.



Se creó un esclavo Modbus 1 donde se especifica el tipo de comunicación en este caso Modbus y la dirección del esclavo

Figura 96

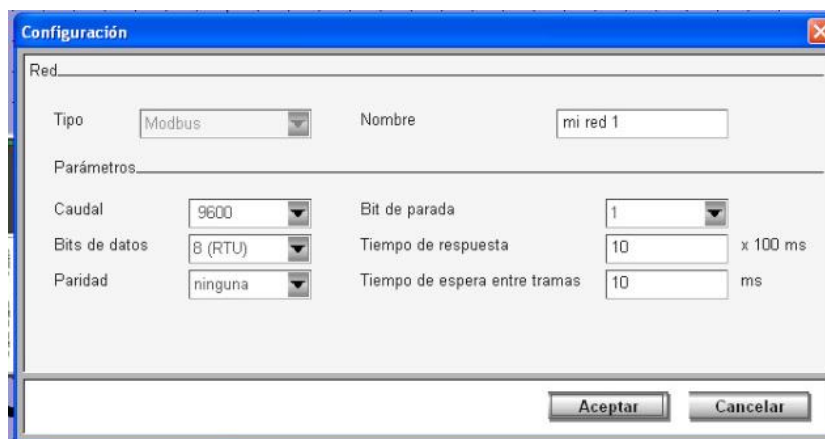
Declaración de MODBUS.



Se realizó la configuración de la red donde se especifican los parámetros de comunicación.

Figura 97

Configuración de la Red1.

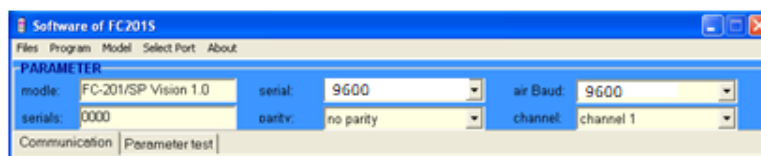


b. Configuración Modulo RF FC-201/SP

Para realizar la comunicación entre el PLC y el Modulo RF FC-201/SP se configuraron los parámetros del módulo colocando los mismos parámetros de comunicación del PLC como se indica en la figura 71.

Figura 98

Configuración del módulo RF FC-201/SP



Las conexiones entre el PLC y las salidas del radio se realizaron mediante un conector DB9, el radio se alimentó con 5v como se indica en la figura número 72.

Figura 99

Conexión PLC-DB9-RADIO.

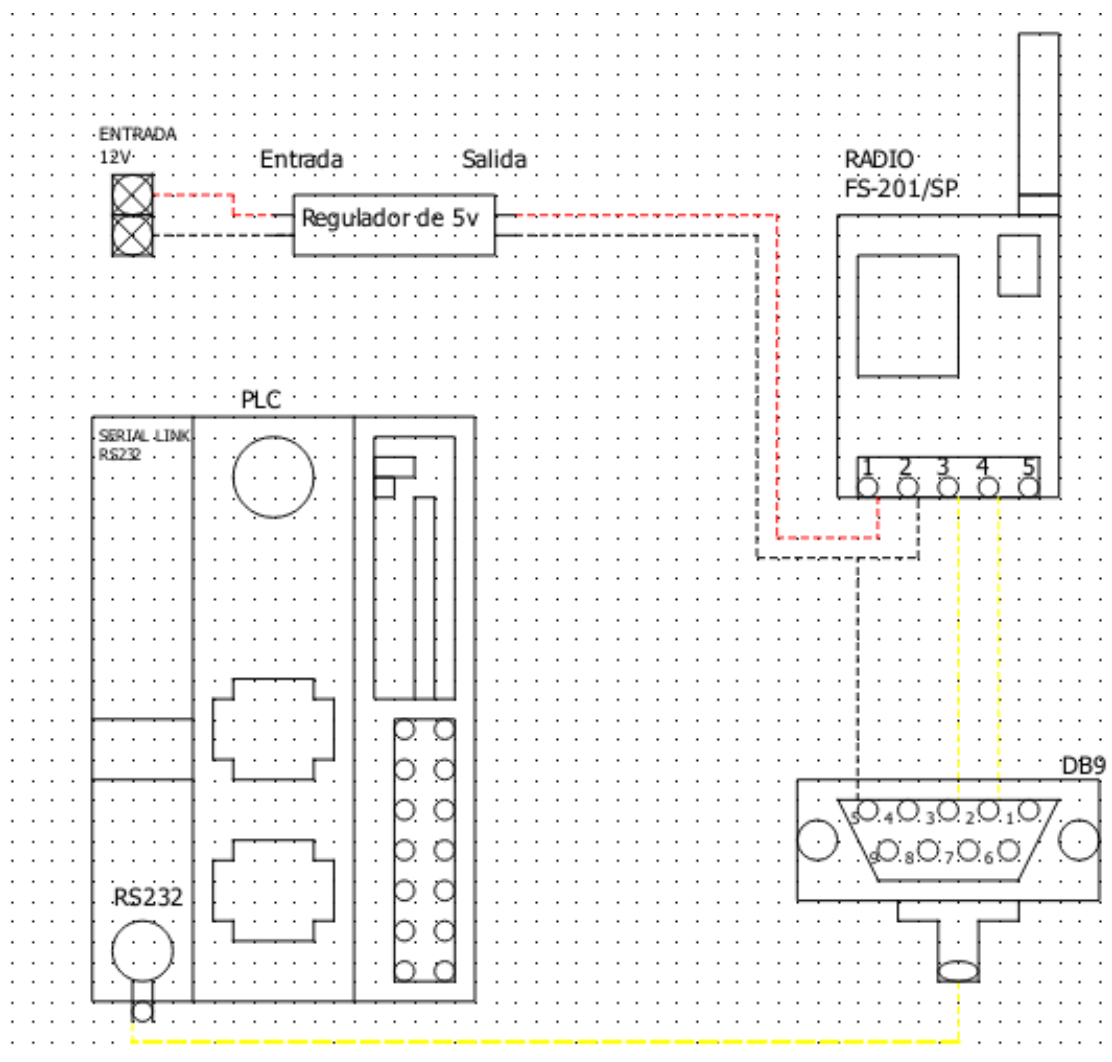


Tabla 23

Distribución de los pines de la radio

Pin	Radio
1	5v
2	GND
3	RXD
4	TXD
5	IDLE

Tabla 24

Distribución de los pines del conector DB9

Pin	DB9 Hembra
1	NC
2	RXD
3	TXD
4	NC
5	GND
6	NC
7	NC
8	NC
9	NC

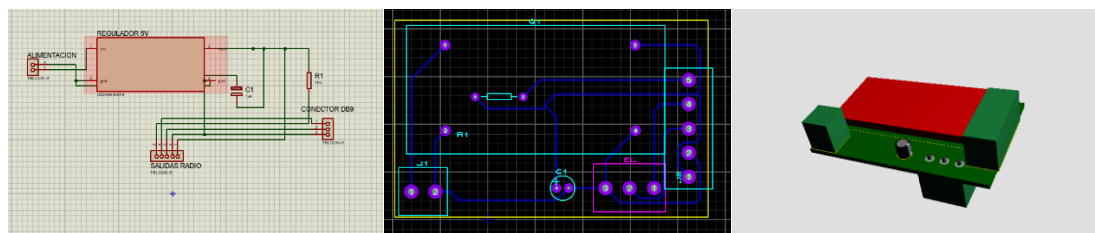
El conector DB9 permite la comunicación RS232 entre el plc y la radio. También es necesario un regulador de voltaje de salida de 5v ya que a la entrada se tiene una diferencia de potencial de 12 v.

Se implementó una placa electrónica diseñada en el software proteus. El diseño incluye un condensador para la estabilización del voltaje de salida del regulador de 5v, es necesario contar con una resistencia entre el idle (pin 5) de la radio y 5v, debido a que la radio está transmitiendo datos constantemente se usó un voltaje mayor a 3 v en el conector de la radio.

Con esos requerimientos se procedió a diseñar la placa PCB obteniendo el diseño.

Figura 100

Diseño de la placa



Se colocó borneras en los conectores el db9 y en el conector de la radio, optimizando trabajos de mantenimiento.

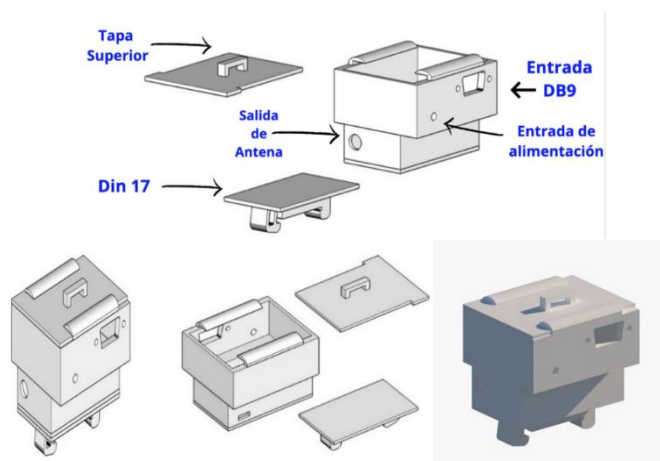
Figura 101

Construcción y montaje de la placa

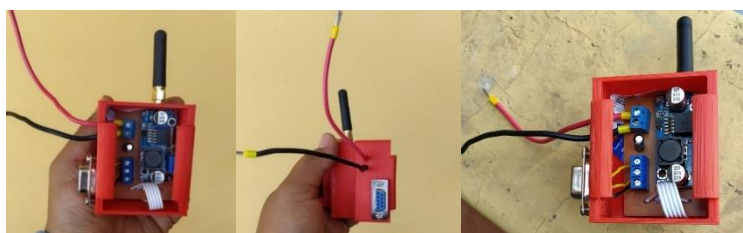


Para el montaje de los radios en el gabinete y en el tablero de adquisición de datos se realizó una caja de protección que permite las conexiones entre el PLC-RADIO y RTU-RADIO. Este diseño se realizó en el software AutoCAD, tiene las siguientes características:

- Salida de la antena de los radios.
- DIN 17 para el montaje en el gabinete.
- Entrada de alimentación.
- Conector DB9 para la comunicación.

Figura 102.*Diseño de la caja de la placa*

Se realizó una impresión 3D con el diseño establecido, el material de la caja es PLA óptimo para las condiciones donde van a estar ubicados los radios como se muestra en la figura 76.

Figura 103*Caja de la placa*

3.5. Diseño e implementación de las interfaces de visualización en el Sistema SCADA/OMS-MWM/DMS con las normas específicas.

Las señales de nivel y caudal se encuentran disponibles en el punto final, el siguiente paso es configurar la RTU para el registro correspondiente de las señales, para ello se deben

tomar en cuenta el canal de lectura, velocidades de transmisión y dirección de dispositivo, los valores se presentan en las siguientes tablas:

Señal de nivel

Tabla 25

Propiedades generales de la señal de nivel en la RTU

PROPIEDADES GENERALES	
Canal	MDB_CPLC2
Modo de comunicación	TCP
N° de esclavo	5
Perfil modbus	Modbus_STD
Timeout de comunicación	3000

Señal de caudal

Tabla 26

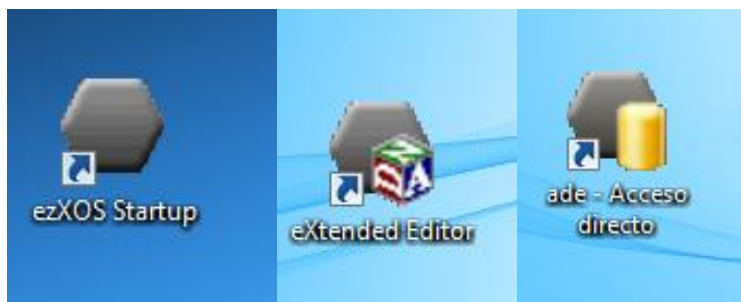
Propiedades generales de la señal de caudal en la RTU

PROPIEDADES GENERALES	
Canal	MDB_CPLC2
Modo de comunicación	RS232
N° de esclavo	2
Perfil modbus	Modbus_STD
Timeout de comunicación	3000

Para realizar la visualización de las señales en el SCADA/OMS-MWM/DMS se emplea el programa OASyS DNA el cual posee tres sistemas ezXOS Startup es donde se muestra el SCADA, en extended editor se realiza el diseño de gráficos y ADE que es el editor de la base de datos.

Figura 104

Programa OASyS DNA



En primer lugar, se ingresaron y configuraron las señales en el editor de la base de datos ADE.

Figura 105

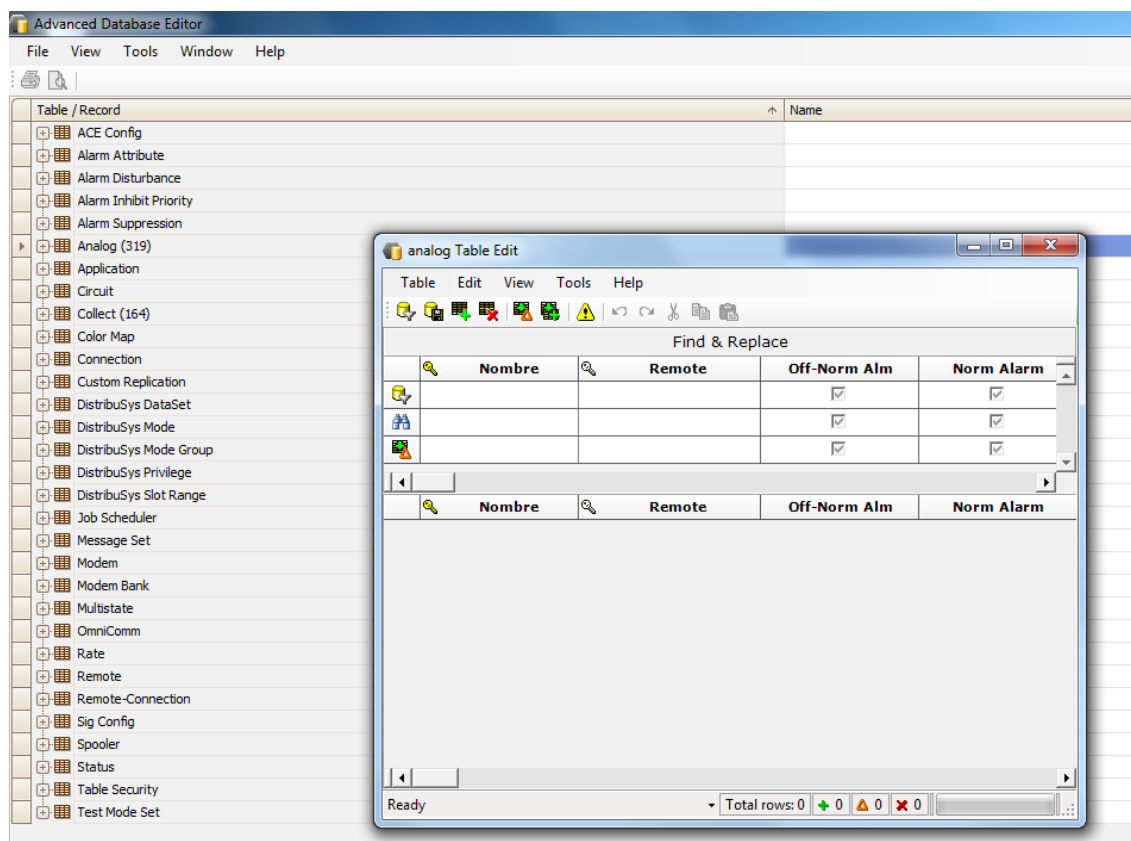
Pantalla de inicio ADE



Selección de las señales analógicas en Analog.

Figura 106

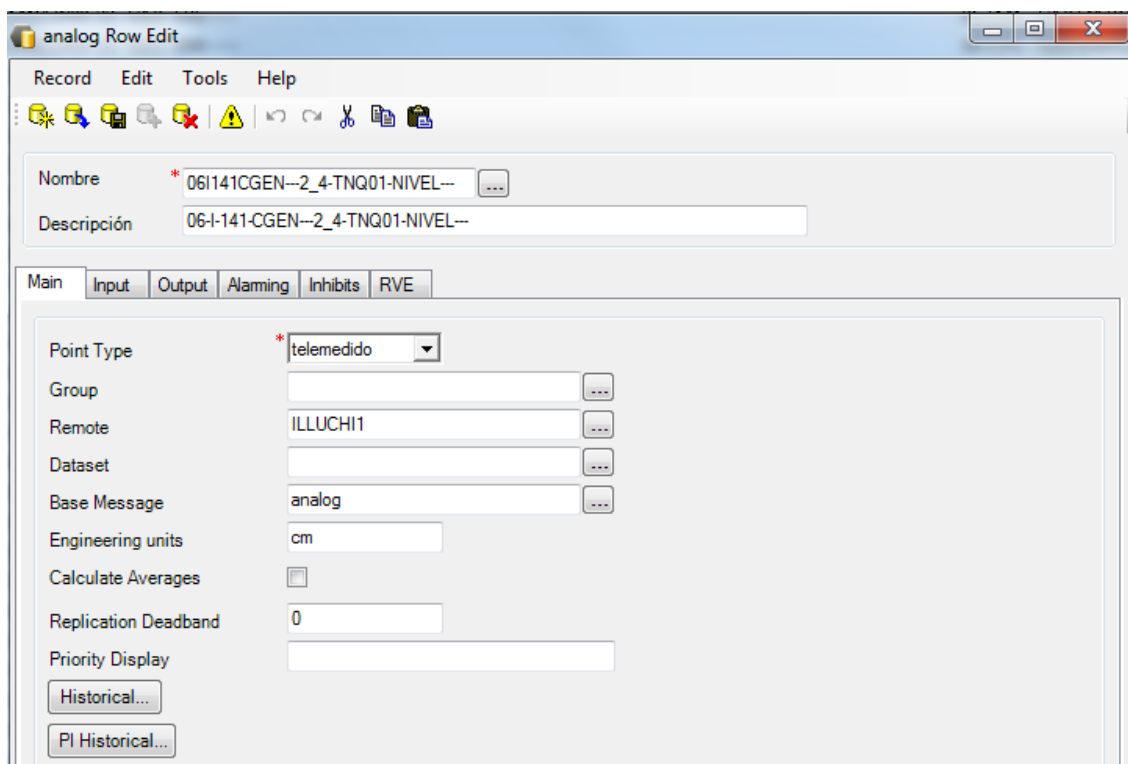
Pantalla de ingreso de señales ADE



Se configuro cada una de las señales, se ingresa datos como: nombre, descripción. En la pestaña main en la opción point type se escoge teledemido porque es un valor transmitido usando técnicas de telecomunicación, en el apartado remote se colocó la central a la que pertenece, en la sección base message el tipo de señal, y en Engineering unit la unidad en que se encuentra la señal, en input coordinates se coloca la coordenada que proporciona la RTU.

Figura 107

Configuración de la señal de nivel del tanque 1

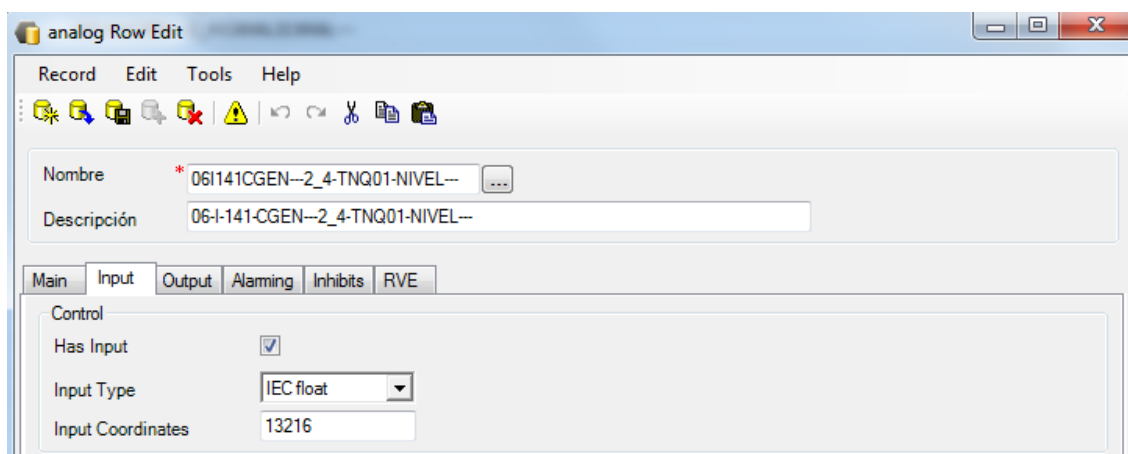


The screenshot shows the 'analog Row Edit' window with the following configuration:

- Nombre: *06I141CGEN--2_4-TNQ01-NIVEL--
- Descripción: 06-I-141-CGEN--2_4-TNQ01-NIVEL--
- Point Type: *telemedido
- Group: (empty)
- Remote: ILLUCHI1
- Dataset: (empty)
- Base Message: analog
- Engineering units: cm
- Calculate Averages:
- Replication Deadband: 0
- Priority Display: (empty)
- Buttons: Historical..., PI Historical...

Figura 108

Configuración de señal del tanque 1

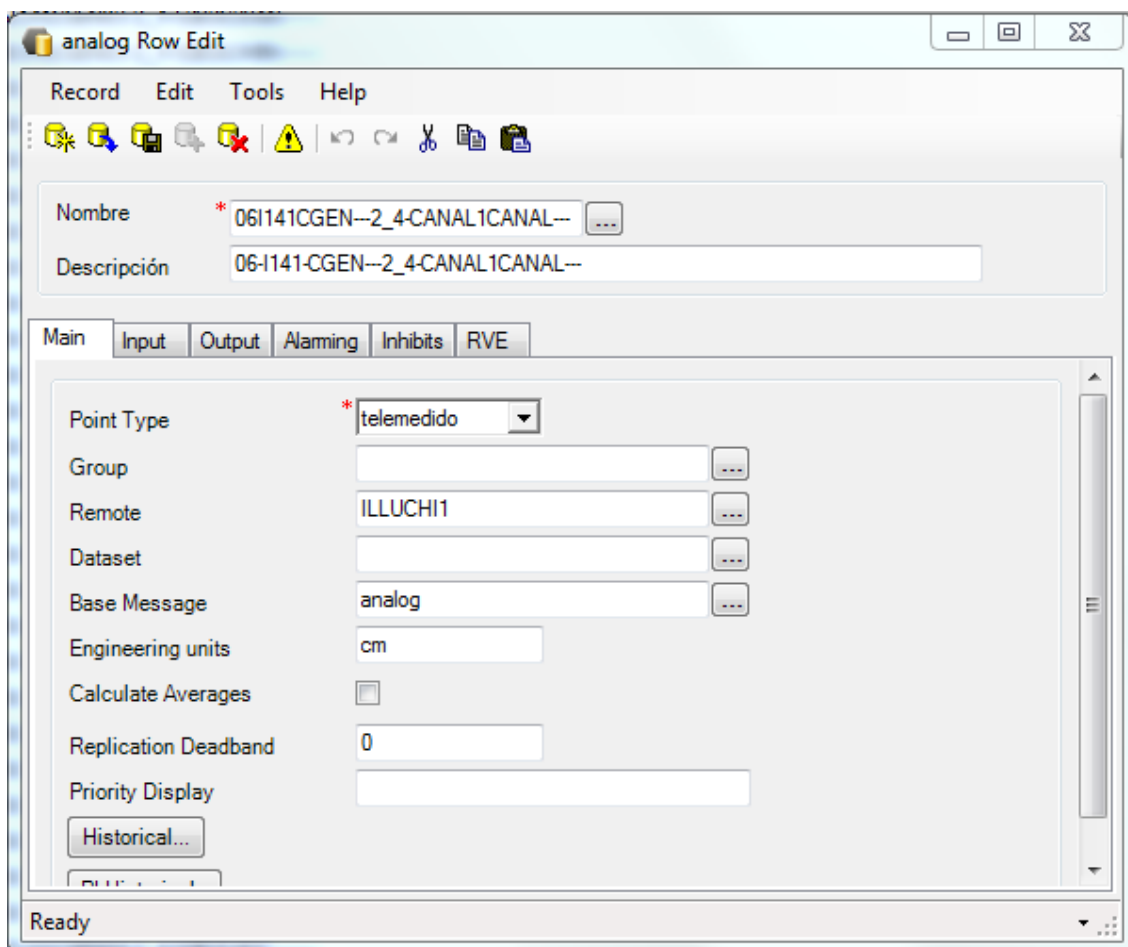


The screenshot shows the 'analog Row Edit' window with the following configuration:

- Nombre: *06I141CGEN--2_4-TNQ01-NIVEL--
- Descripción: 06-I-141-CGEN--2_4-TNQ01-NIVEL--
- Control: Has Input
- Input Type: IEC float
- Input Coordinates: 13216

Figura 109

Configuración de la señal de caudal del canal 1

**Figura 110**

Configuración de señal en el canal 1

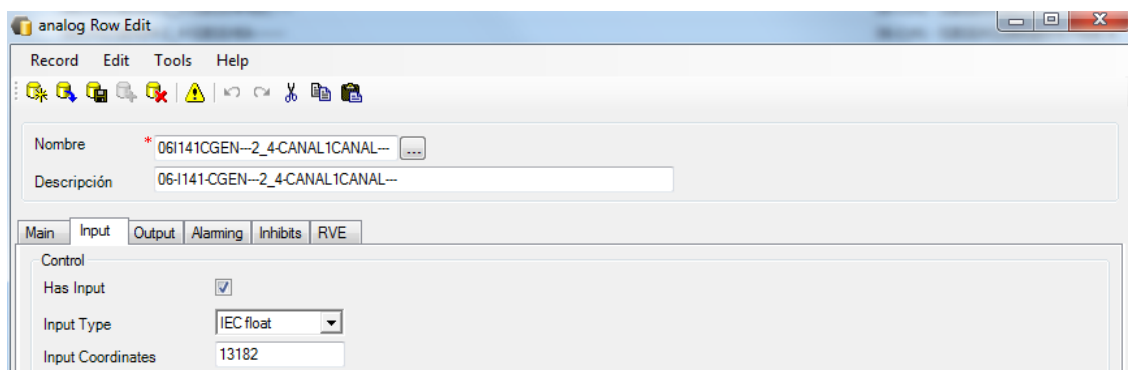
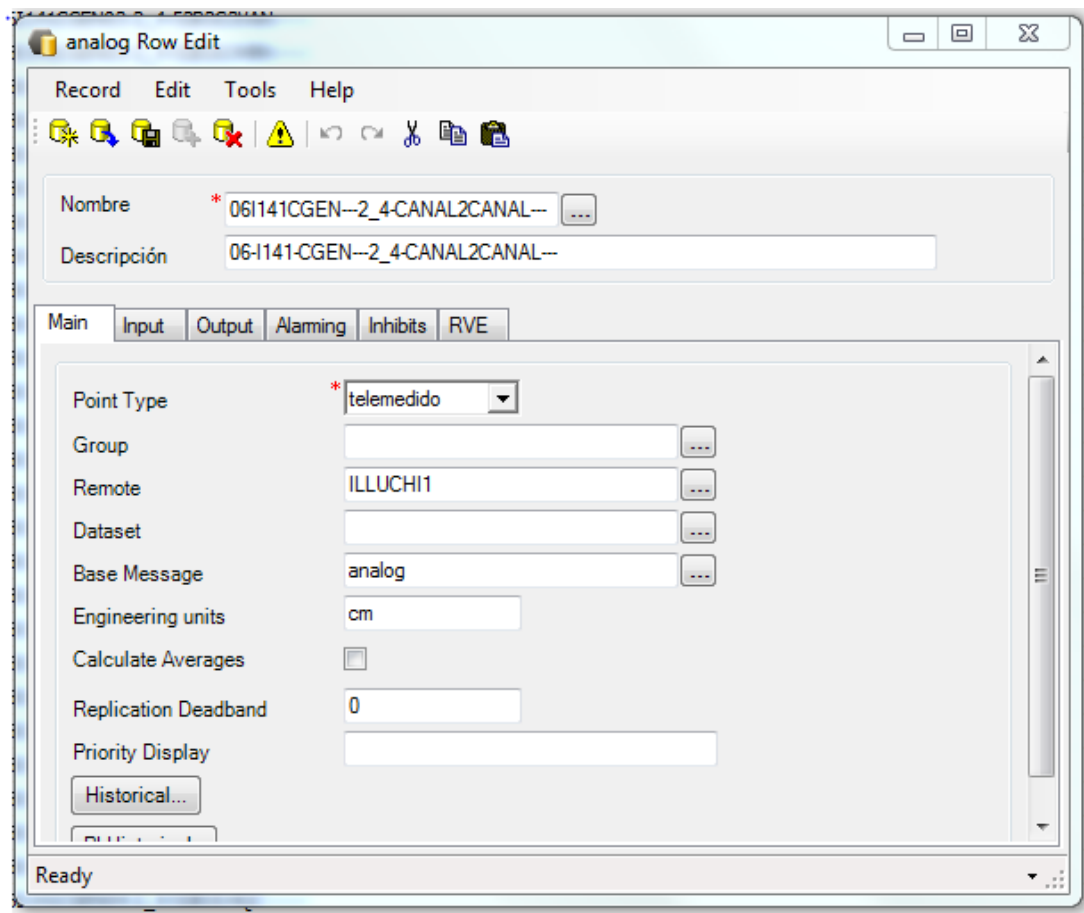
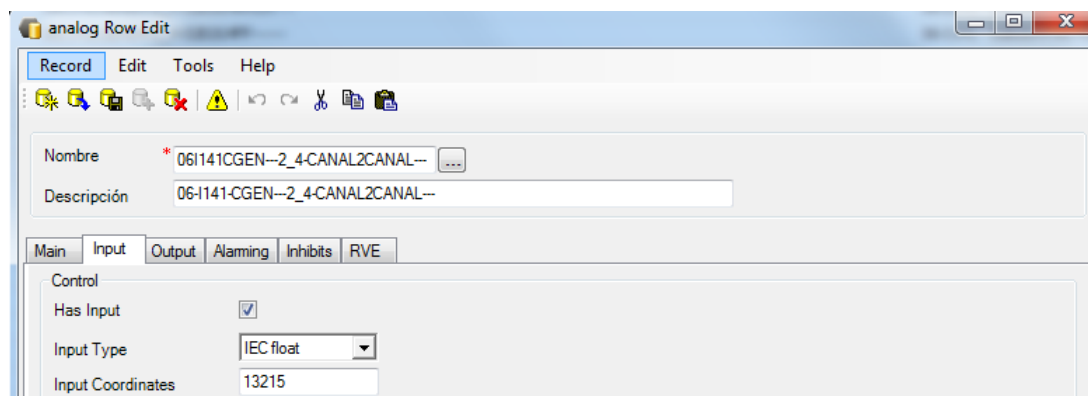


Figura 111

Configuración de la señal de caudal del canal 2

**Figura 112**

Configuración de señal en el canal 2



Ingresadas y configuradas las señales medidas el siguiente paso es crear las Interfaces graficas en extended editor, donde se realiza el diseño de gráficos.

Interfaz gráfica del tanque 1

Figura 113

Interfaz gráfica del tanque 1-Central de generación illuchi 1

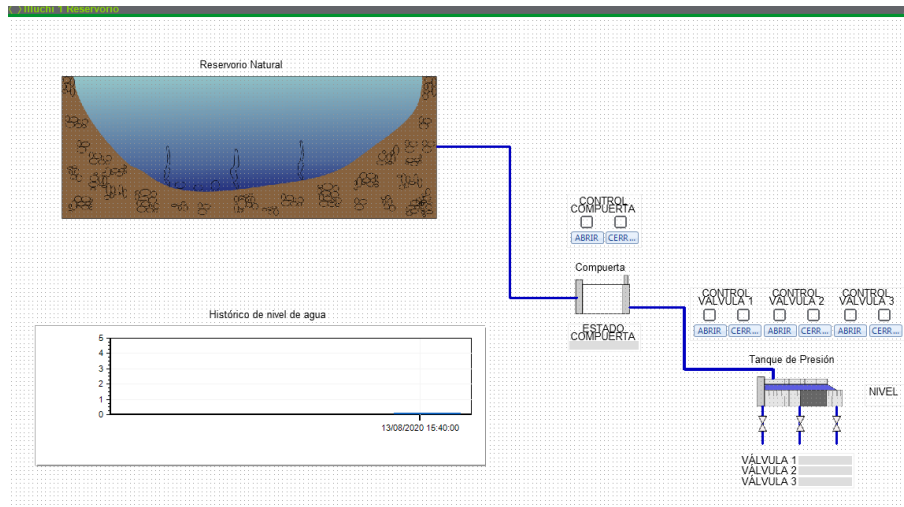
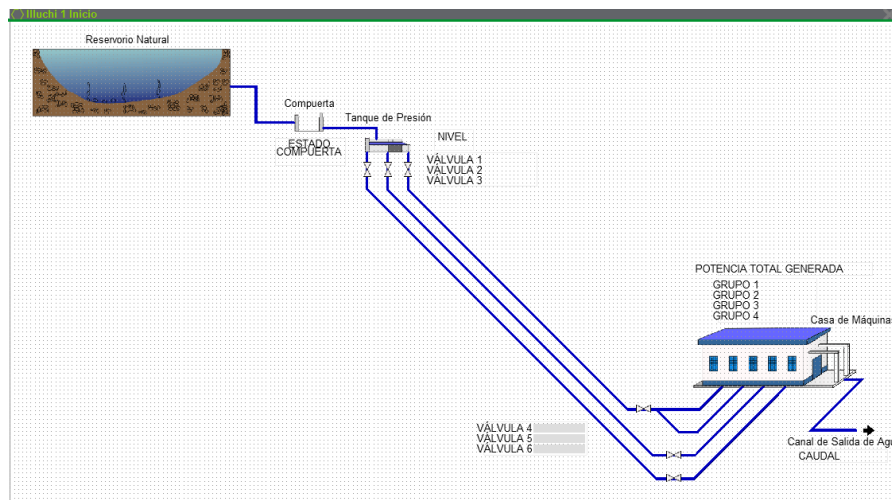


Figura 114

Interfaz gráfica del tanque 1-Central de generación Illuchi 1



Para ingresar las señales preestablecidas en el editor de la base de datos ADE y atarlas en extended editor, se ingresa a la pantalla Path Browser como se indica a continuación:

Figura 115

Pantalla de ingreso de señales

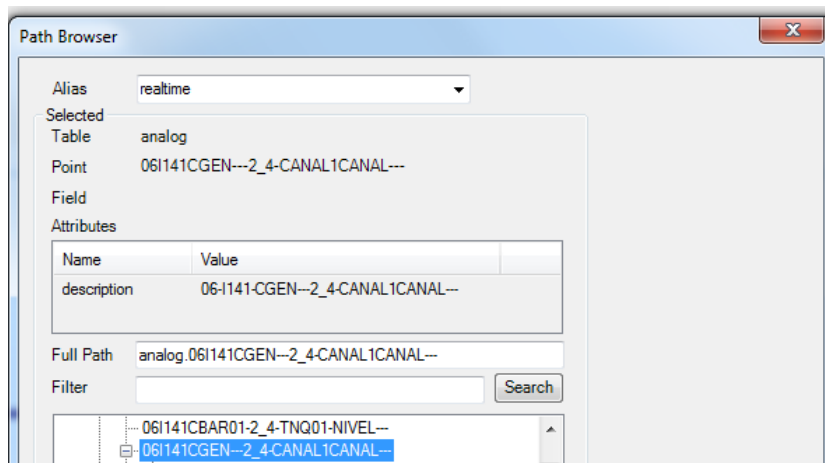


Figura 116

Pantalla de ingreso de señales

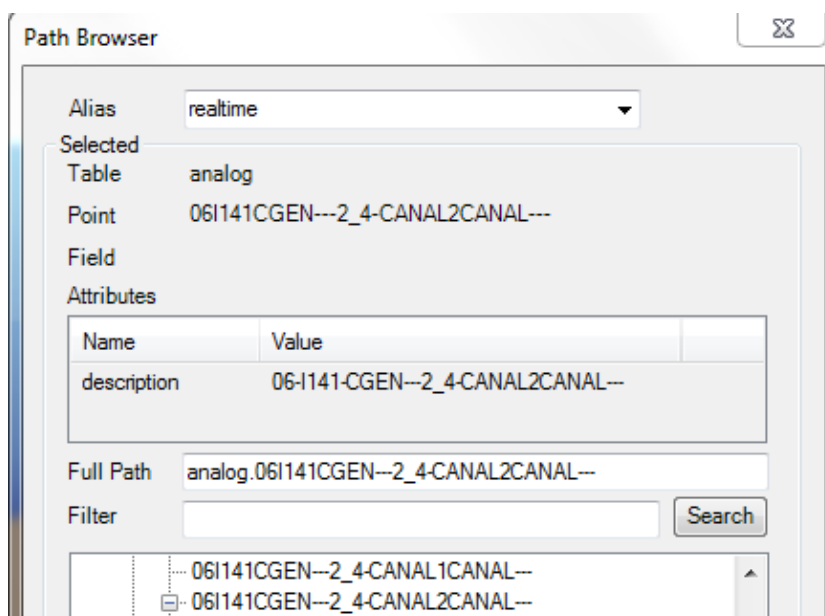
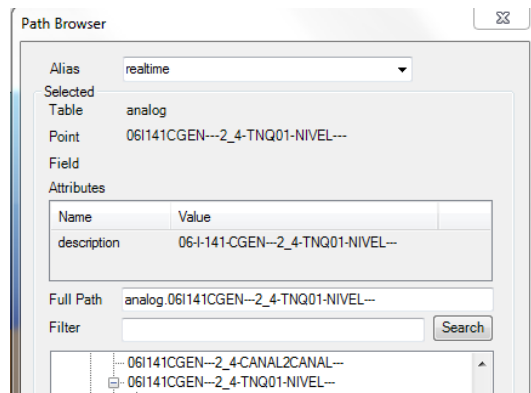


Figura 117*Pantalla de ingreso de señales*

Las señales de nivel de los dos canales que se encuentran en la central de generación Illuchi 1 son tratadas mediante la fórmula que se indica en la figura número 113 para obtener el caudal de cada uno de los canales y posteriormente se sumaron para obtener el caudal total que sale de la central de generación Illuchi 1.

Figura 118*Ecuación de conversión de nivel a caudal*

```
Public Sub rt_text4975_ValueChanged(ByVal sender As
Try
    ' Insert user code here.
    'caudal
    Dim q As Double
    Dim h As Double
    Dim raiz As Double
    Dim caudal As Double
    h = val(rt_text4978.Text) / 100
    q = 1.84 * ((1.52 - (0.2 * h)) )
    raiz = h ^ (3 / 2)
    caudal = q * raiz
    wfctrl5395.Text = caudal

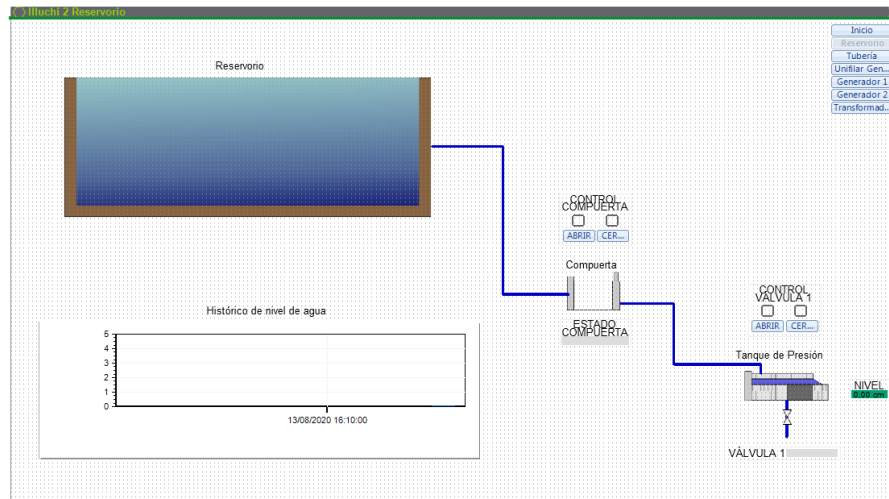
    Dim q1 As Double
    Dim h1 As Double
    Dim raiz1 As Double
    Dim caudal1 As Double
    h1 = val(rt_text4975.Text) / 100
    q1 = 1.84 * ((1.14 - (0.2 * h1)) )
    raiz1 = h1 ^ (3 / 2)
    caudal1 = q1 * raiz1
    wfctrl4871.Text = caudal1

    wfctrl4648.Text = caudal + caudal1
```

Interfaz gráfica del tanque 2

Figura 119

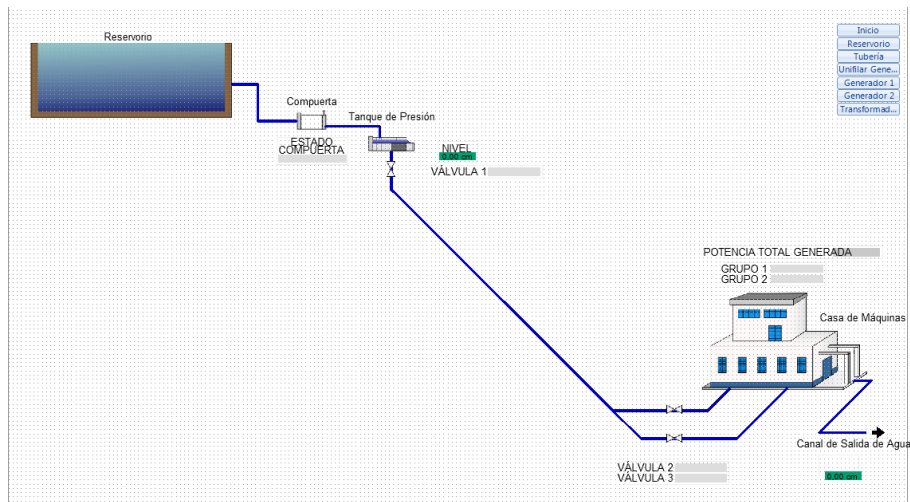
Interfaz gráfica del tanque 2



Interfaz gráfica del tanque 2- Central de generación Illuchi 2

Figura 120

Interfaz gráfica del tanque 2-Central de generación Illuchi 2



Análisis Económico

A continuación, se presenta un resumen de los costos de los equipos e instalaciones que se utilizaron para realizar el proyecto.

Tanque 1

Tabla 27

Costo de los equipos e instalaciones (Tanque 1)

CANTIDAD	RECURSOS	Precio. Unitario	Precio Total
1	PLC SCHEINER ELECTRIC TWDLMDA20DTK	500\$	500\$
1	Radio Groove 52 Mikrotik	150\$	150\$
1	Conversor RS232/RS485 Serial a Ethernet/IP	100\$	100\$
1	Fuente de 24 V	50\$	50\$
1	Antena yaggi	60\$	60\$
1	Cables ,tornillos, cinta	20\$	20\$
1	Mano de Obra	150\$	150\$
	TOTAL		930\$

Central de generación Illuchi 1

Tabla 28

Costo de los equipos e instalaciones (Central de generación Illuchi 1)

CANTIDAD	RECURSOS	Precio. Unitario	Precio Total
1	Antena yaggi	60\$	60\$
1	Radio Groove 52 Mikrotik	150\$	150\$
1	SWITCH	30\$	30\$
1	Fuente de 24 V	15\$	15\$
1	PLC SCHEINER ELECTRIC TWDLMDA20DTK	500\$	500\$
2	Radios FC-201/SP	20\$	40\$
2	Sensores ultrasónicos	140\$	280\$
1	Gabinete	60\$	60\$
1	Cables, tornillos, cinta, tubería	40\$	40\$
1	Mano de Obra	200\$	200\$
	TOTAL		1240\$

ENLACE Tanque 2– Central de generación Illuchi 2

Tabla 29*Costo de los equipos e instalaciones (Tanque 2-Central de generación Illuchi 2)*

CANTIDAD	RECURSOS	Precio. Unitario	Precio Total
2	Radio Groove 52 Mikrotik	150\$	300\$
3	Fuente de 24 V	30\$	90\$
2	Antena yaggi	60\$	120\$
1	Antena omnidireccional	50\$	50\$
1	Mano de Obra	100\$	100\$
	TOTAL		630\$

CAPÍTULO IV

4. PRUEBAS Y RESULTADOS

En el presente capítulo se muestra los resultados de la implementación eléctrica y electrónica de la instrumentación, la validación de los enlaces de comunicación y finalmente la señales presentada en el SCADAOMS/AMS de ELEPCO S.A.

4.1. Instalación eléctrica y electrónica de la instrumentación

En la figura número 117 se muestra el gabinete colocado en la central de generación Illuchi 1, en funcionamiento con todos los elementos que constan en el diseño figura número 116.

Figura 121

Diseño, elementos de la central de generación Illuchi 1

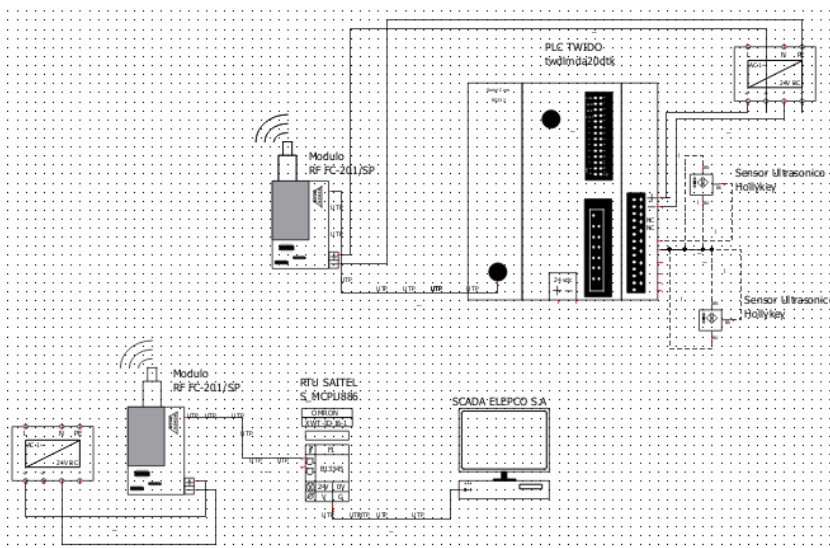
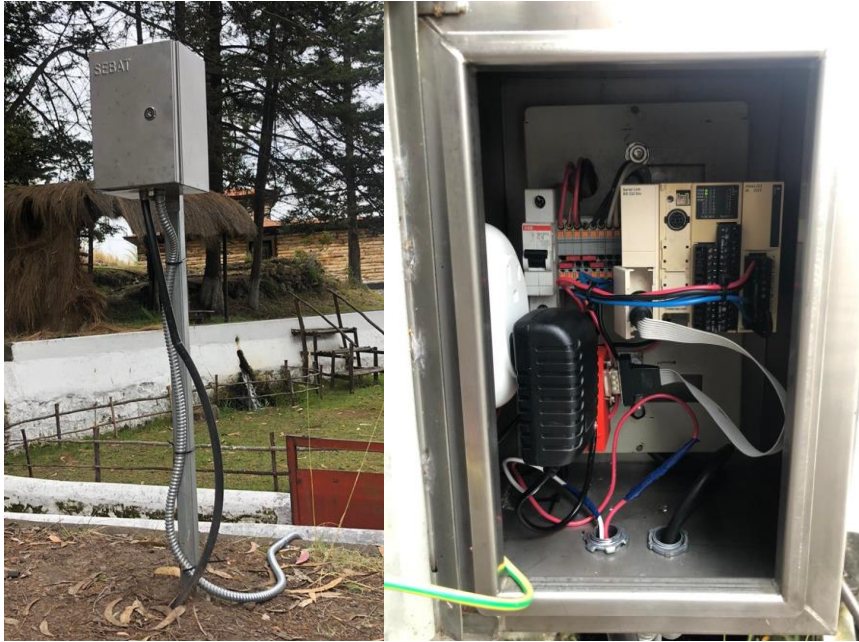


Figura 122

Gabinete montado en la central de generación Illuchi 1



Para la medición del caudal que sale de la central de generación Illuchi 1 se utilizó una medición indirecta, se midió el nivel de agua y con la fórmula correspondiente se lo transformó a caudal, para la elección del sensor de nivel se tomó en cuenta que el error no supere: +/- 1 m3/s, como se muestra a continuación:

Fórmula para el cálculo de caudal en función del nivel

$$\varphi = 1.84(L - 0.2H)H_2^3$$

Exactitud del sensor seleccionado: +/- 5mm

Diferenciales para el cálculo del error

L=1.4 m

$$\varphi_{(H)} = 1.84(L - 0.2H)H_2^3$$

Calculo del error

$$y = F(x)$$

$$dy = F'(x) * \Delta x$$

Reemplazo de fórmulas

$$\varphi_{(H)} = 1.84 * (1.4) - 1.84 * 0.2 * H)H_2^3$$

$$\varphi_{(H)} = (2.576 - 0.368 * H)H_2^3$$

$$\varphi_{(H)} = 2.576H_2^3 - 0.368H_2^5$$

Derivada

$$\varphi'_{(H)} = \frac{3}{2} * 2.576H_2^1 - \frac{5}{2} * 0.368H_2^3$$

$$H = 0.65 \text{ m}$$

Reemplazamos H

$$\varphi'_{(H)} = \frac{3}{2} * 2.576H_2^1 - \frac{5}{2} * 0.368H_2^3$$

$$\varphi'_{(H)} = 2.723 * 0.005$$

$$\varphi'_{(H)} = 2.723 * 0.005$$

Máximo error posible cometido al medir el nivel

$$\varphi'_{(H)} = 0.014 \text{ m}^3/\text{s}$$

En la figura 119 se muestra el gabinete colocado en las instalaciones del tanque 1, en funcionamiento con todos los elementos que constan en el diseño, figura número 118:

Figura 123

Diseño, elementos tanque de presión 1

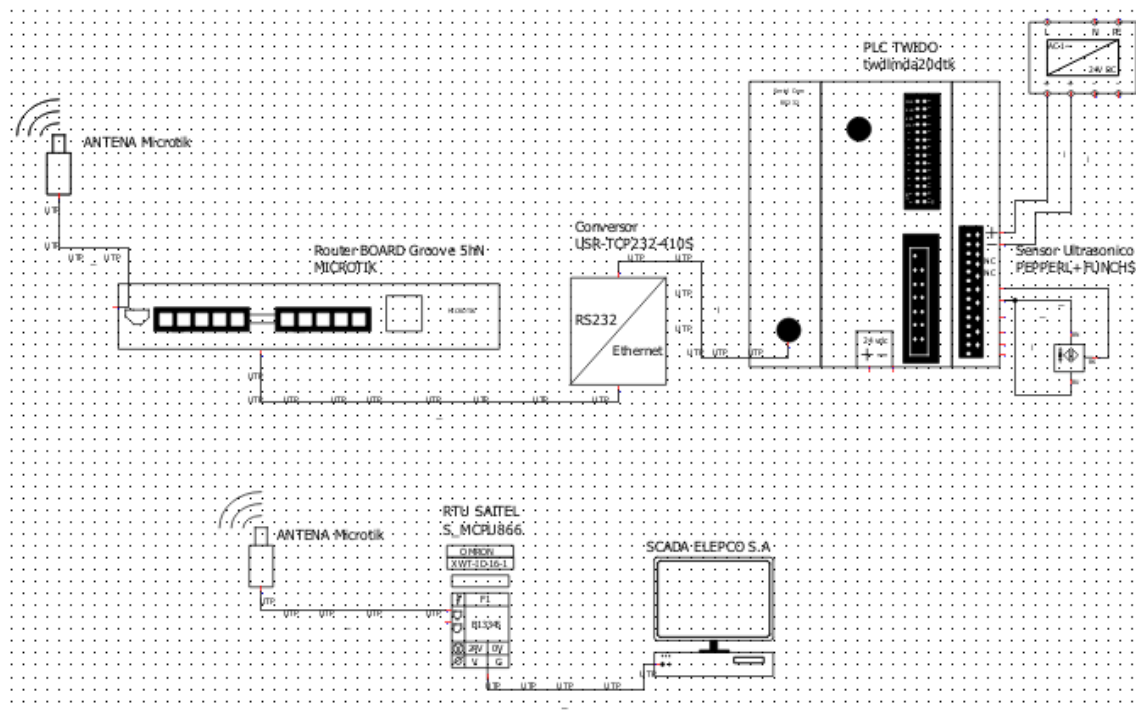
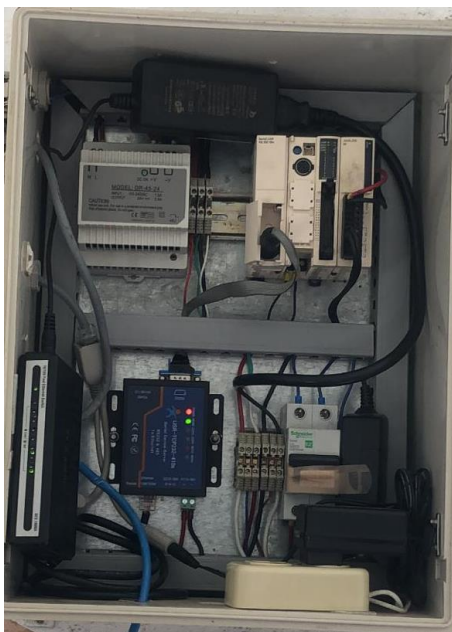


Figura 124

Gabinete montado en el tanque de presión 1



4.2 Validación de las comunicaciones

Con los dispositivos instalados, se realizaron pruebas de funcionamiento de cada uno y del correcto envío de la señal:

Se procede a verificar la conexión entre las 2 radios “Central1” y “Tanque1” en la pantalla de configuración se puede verificar la información y el estado del enlace como se muestra en la figura 80.

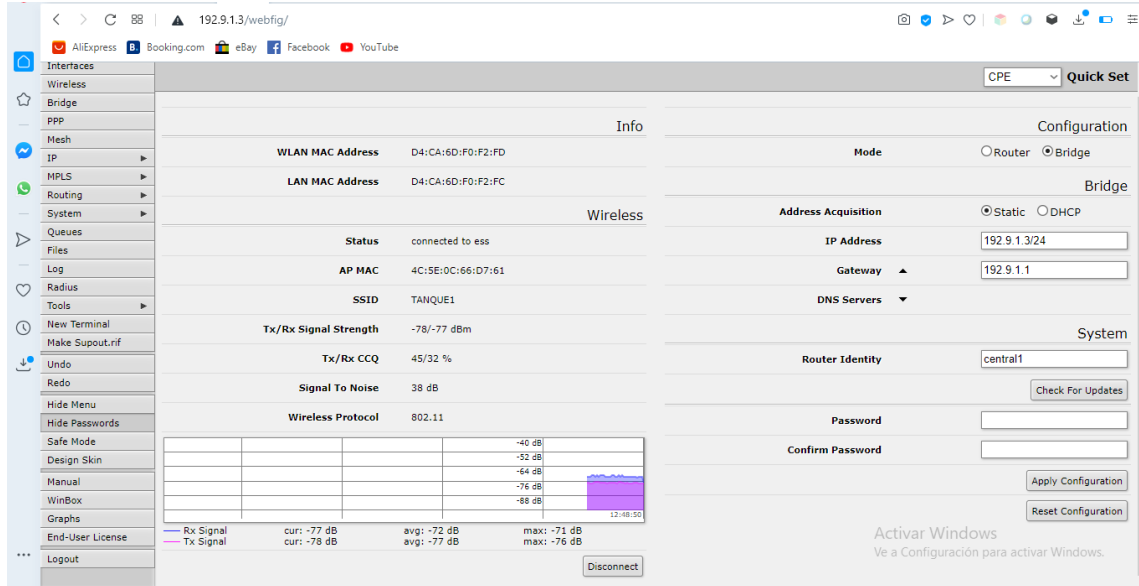
Figura 125

Estado del enlace

		Info
WLAN MAC Address	D4:CA:6D:F0:F2:FD	
LAN MAC Address	D4:CA:6D:F0:F2:FC	
		Wireless
Status	connected to ess	
AP MAC	4C:5E:0C:66:D7:61	
SSID	TANQUE1	
Tx/Rx Signal Strength	-78/-77 dBm	
Tx/Rx CCQ	45/32 %	
Signal To Noise	38 dB	
Wireless Protocol	802.11	

Figura 126

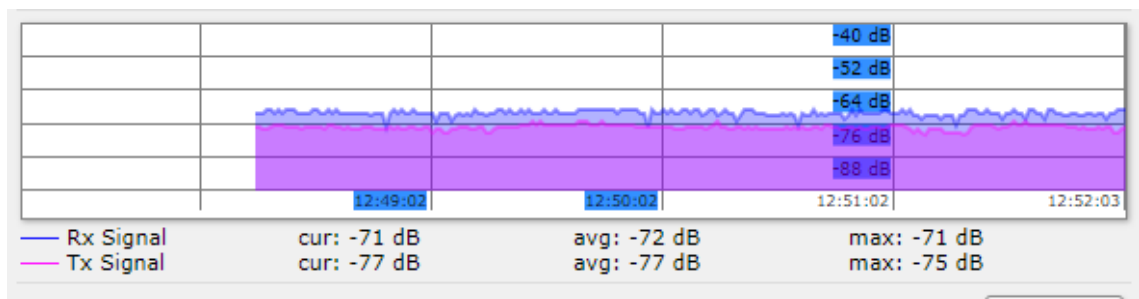
Pantalla configuración de Radio groove



Se observa la intensidad de la señal de transmisión y recepción, se puede verificar que el enlace es correcto y la cobertura es buena como se obtuvo en el diseño realizado en el software de Radio Mobile.

Figura 127

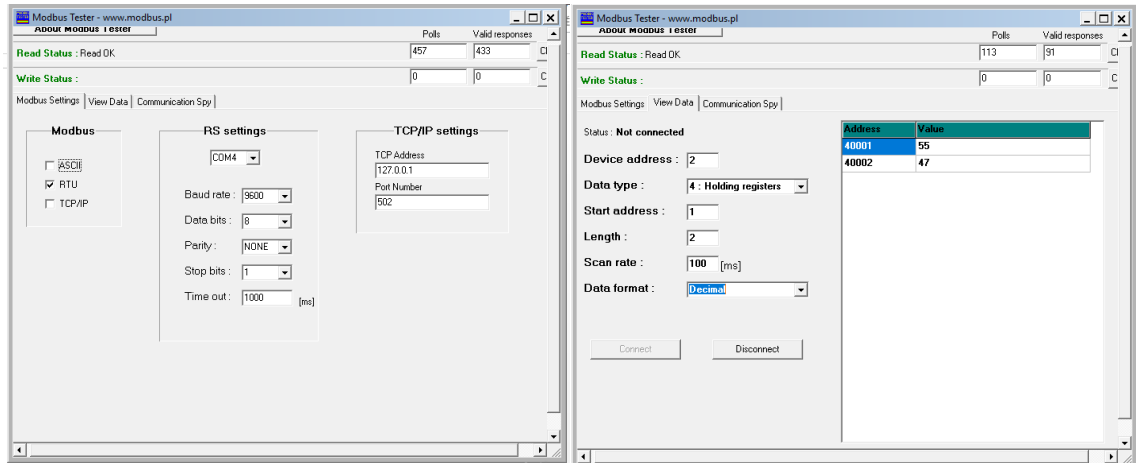
Intensidad de la señal Transmisión y Recepción



También se comprobó que las señales de caudal y nivel lleguen correctamente a su destino para esto se utilizó el software ModBusTester

Figura 128

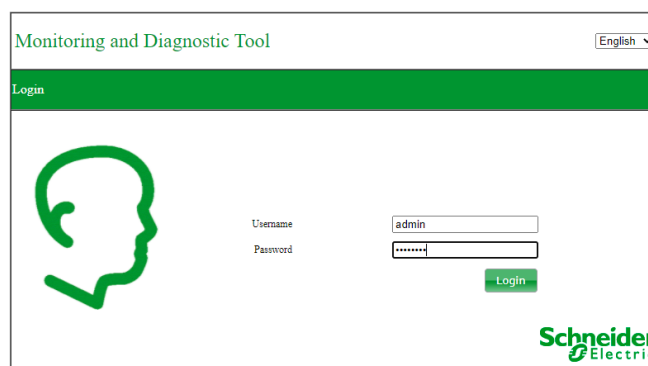
Señales en ModbusTester



Las señales fueron ingresadas al RTU y para comprobar si las señales tienen conexión con la RTU se utilizó Monitoring and Diagnostic Tool que no permite monitorear todas las señales ingresadas en la misma

Figura 129

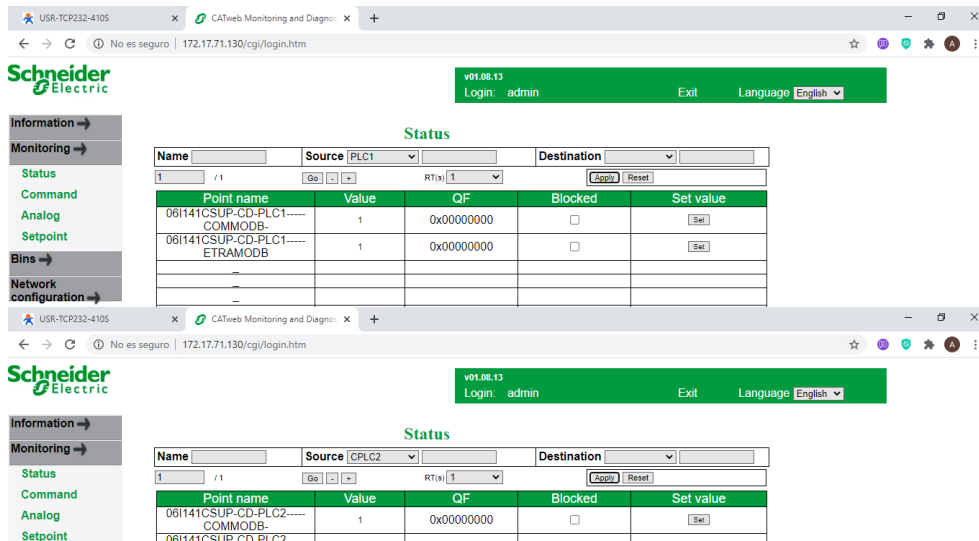
Pantalla de inicio Monitoring and deagnostic tool



En la figura 123 se muestra las señales de nivel de los dos canales de la central y el nivel del tanque 1 donde se indica con el dígito 1 que existe comunicación con la RTU:

Figura 130

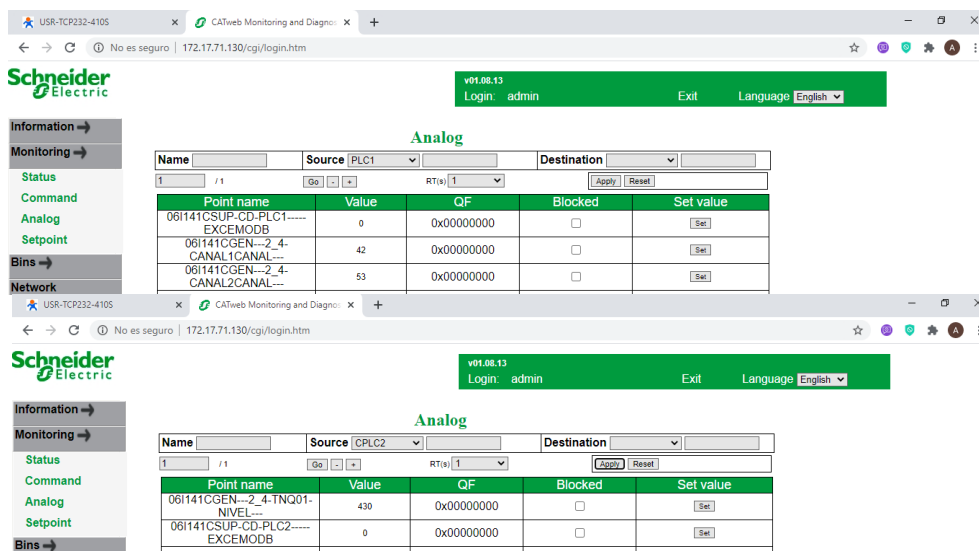
Conexión de las señales en RTU



En la sección de Analog se visualiza el valor de las señales en tiempo real:

Figura 131

Valor de las señales en RTU



En el SCADA de ELEPCO S.A. se muestra las señales de nivel y caudal en tiempo real:

Figura 132
Medición de caudal en el SCADA

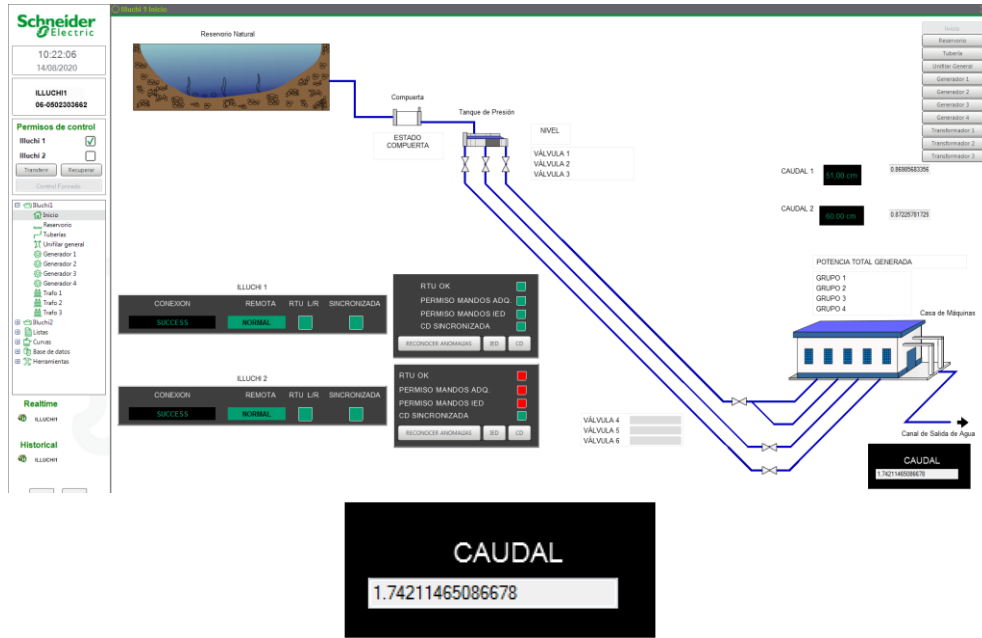
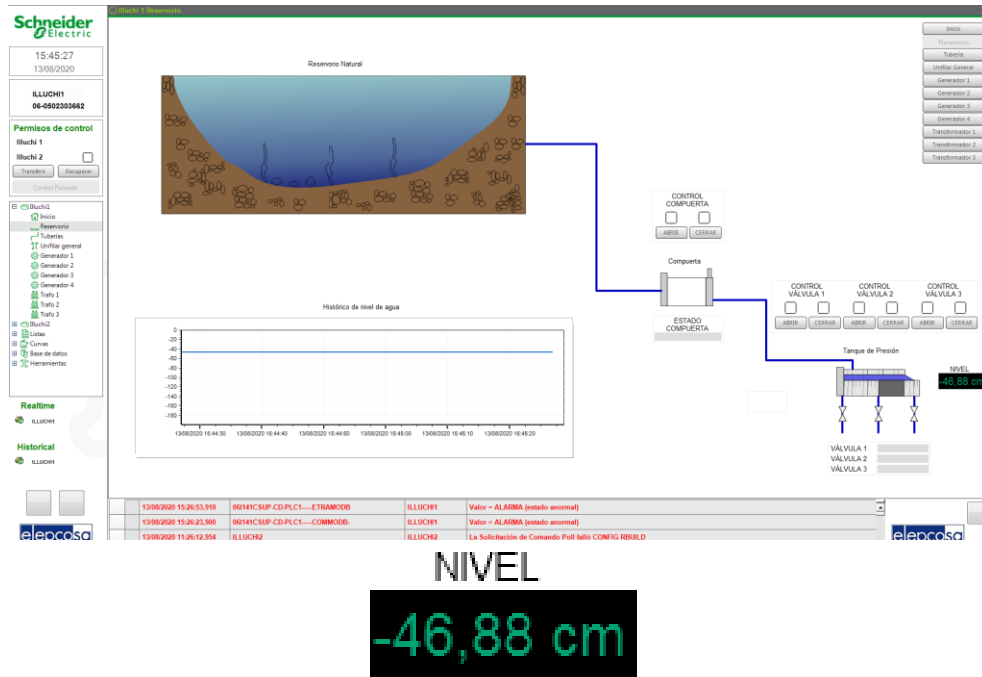


Figura 133
Medición de nivel en el SCADA



4.3. Validación de la hipótesis

La Hipótesis planteada: “El diseño e implementación del módulo para la medición y registro de caudales y niveles en los tanques de presión de las centrales Illuchi 1 e Illuchi 2 ELEPCO S.A. permitirán establecer la eficiencia de uso del recurso hídrico en la generación eléctrica”. Ha sido comprobado a través del cálculo de la potencia de las turbinas en la Central Illuchi 1, comparándola con la potencia real generada.

Potencia Generada

$$3500000 \text{ W}$$

Potencia Calculada

$$P = \sigma * \varphi * H * \eta$$

$$P = 9,8 * 2177 * 296,3 * 0,90$$

$$5689297 \text{ W}$$

$$n = \frac{3500000}{5689297} \times 100$$

$$61,519\%$$

Donde:

σ = Gravedad ($\frac{\text{m}}{\text{s}}$)

φ =Caudal ($\frac{\text{m}^3}{\text{s}}$)

H=Altura Neta (m)

η =Rendimiento o eficiencia de la turbina.

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- El incremento acelerado del consumo de energía eléctrica tanto en el ámbito doméstico, comercial e industrial, hace que los sistemas de generación se vean obligados a tener una mayor eficiencia (en el aprovechamiento de los recursos hídricos), en consecuencia, disponer de registros de variables de interés, en tiempo real es de vital importancia para su análisis y toma de decisiones en la generación eléctrica, dejando justificado el aporte del presente proyecto, que permite medir y registrar estos parámetros.
- El desarrollo de nuevas tecnologías en el ámbito de la instrumentación, comunicación y supervisión de sistemas hacen posible la adquisición y concentración de la información de procesos que se encuentran en lugares de difícil acceso, y permiten monitorear desde diferentes puntos geográficamente distantes.
- Al diseñar los planos de los gabinetes y la instalación correcta de los componentes se asegura que los equipos trabajen correctamente, la fiel medición de las variables nivel y caudal, precavete la vida útil de los equipos, y el apropiado nivel de seguridad de los operadores y personal de mantenimiento de ELEPCO S.A.
- El diseño previo de los enlaces de comunicación permitió la ubicación y alineación idónea de las antenas, los valores de pérdidas y atenuación de la señal al exterior se

calcularon en alrededor de los 98,73[*dB*] valores que no superan los máximos recomendados para este tipo de comunicación que fueron comprobados con el software Radio Mobile, permitiendo obtener una comunicación eficiente, veloz y confiable.

- Con la integración de las señales de nivel y caudal en el SCADA de ELEPCO S.A. se incrementó la capacidad de supervisión y monitoreo en tiempo real, mejorando de esta manera la fiscalización y el aprovechamiento del recurso hídrico en el proceso de generación eléctrica.
- La utilización del software OASyS DNA permitió diagramar los HMI'S de las centrales de generación Illuchi 1 y 2 así como los tanques de presión 1 y 2 teniendo en cuenta su estructura, animación, linkeo de las variable y navegación entre pantallas.
- Durante las pruebas de funcionamiento en tiempo real se pudo comprobar el comportamiento de las variables, para ello se procedió con mediciones manuales y simultáneamente se visualizó sus valores en el controlador lógico programable, en la unidad terminal remota y en el SCADA de ELEPCO S.A. obteniendo en todos el mismo valor.
- Se estableció la eficiencia de uso del recurso hídrico en la generación eléctrica en la central ILLUCHI 1 de ELEPCO S.A. a través del cálculo de la potencia de generación disponible y la potencia real generada, dando un resultado de 61.519 %.

5.2. Recomendaciones

- Se recomienda que previo a la ubicación de equipos de comunicación se realice un diseño, donde se tome en cuenta el tipo de entorno ya que se presentan limitaciones en zonas montañosas y de vegetación abundante.
- Se debe tomar en cuenta al momento de seleccionar los equipos que operen y sean compatibles entre sí; además, que sean apropiados para trabajar en las condiciones adversas a las que pueden estar sometidos.
- Se recomienda realizar un seguimiento de cada una de las variables que se monitorean en tiempo real en el SCADA de ELEPCO S.A. para comprobar su correcto funcionamiento y de esta manera evitar errores futuros.
- Se recomienda el incremento de instrumentación para la adquisición de señales, para que las mediciones se realicen de forma directa con la finalidad de obtener mayor precisión.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alibaba. (2020). *Holykell fábrica UE3003 ultrasonidos agua sensores de nivel sin contacto para pegamento*. Recuperado el 01 de Mayo de 2020, de <https://spanish.alibaba.com/product-detail/holykell-factory-ue3003-ultrasonic-water-level-sensors-non-contact-for-glue-60712653318.html>
- Andrade Molina, D. S. (2014). *Plan de seguimiento, control y monitoreo de la implementación del sistema integrado de gestión para la distribución eléctrica - Sigde en las empresas eléctricas de distribución a nivel nacional*. Sangolquí: Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE. Recuperado el 06 de Agosto de 2019
- Arbaev, T. (2019). *Foto de archivo - Símbolo de la antena de metal aislado en blanco*. Recuperado el 30 de Septiembre de 2019, de 123RF: https://es.123rf.com/photo_21378415_s%C3%ADmbolo-de-la-antena-de-metal-aislado-en-blanco.html?fromid=SzNIVnlWa1M3UVpQWTQ5MVNuOVhsdz09
- Arcos Montezuma, J. A. (2010). *Diseño y construcción de un transmisor de nivel capacitivo*. Bucaramanga: Universidad Pontificia Bolivariana. Recuperado el 30 de Agosto de 2019
- Calero Freire, F. M. (2007). *Estudio técnico-económico de la implementación del centro de control de las centrales hidroeléctricas Illuchi 1 e Illuchi 2 de Elepco S.A.* Quito: Escuela Politécnica Nacional. Recuperado el 20 de Agosto de 2019
- Castro Vázquez, J. C. (2019). *Integración de subestaciones al sistema avanzado para el manejo de la distribución del Ecuador*. Quito: Escuela Politécnica Nacional. Recuperado el 09 de Agosto de 2019
- Chacon, D. (2001). *Supervisión y control de procesos*. O.D.

Creus Solé, A. (2011). *Instrumentación Industrial* (Octava edición ed.). Barcelona: Marcombo.

Recuperado el 18 de Octubre de 2019

Elepco S.A. (2018). *Plan Estratégico 2018-2021*. Recuperado el 05 de Agosto de 2019, de

Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi S.A.: <https://elepcosa.com.ec/wp-content/uploads/2019/01/Plan-Estrat%C3%A9gico-2018-2021.pdf>

Empresa Eléctrica Quito. (27 de Noviembre de 2014). *la EEQ inicia la segunda fase del sistema*

Scada/OMS-MWM/DMS a nivel nacional. Recuperado el 08 de Agosto de 2019, de

Empresa Eléctrica Quito:

http://www.eeq.com.ec:8080/nosotros/comunicamos/noticias/-/asset_publisher/PDd0RO7ISu5d/content/la-eeq-inicia-la-segunda-fase-del-sistema-scada-oms-mwm-dms-a-nivel-nacional;jsessionid=EB7E9327D6EFB4CCC8BBDBA46783BEC1

Espejo Marín, C., & García Marín, R. (2010). Agua y energía: producción hidroeléctrica en

España. *Investigaciones Geográficas*(51), 107-129. Recuperado el 10 de Agosto de 2019, de <https://www.redalyc.org/pdf/176/17618736005.pdf>

Fernández, I. (10 de Enero de 2017). *Comunicación láser: qué es, de dónde viene y por qué es el*

futuro de las redes. Recuperado el 15 de Octubre de 2019, de Nobbot. Tecnología para las personas: <https://www.nobbot.com/futuro/comunicacion-laser/>

González Arias, A. (2001). *¿Qué es el magnetismo?* Salamanca: Universidad de Salamanca.

Recuperado el 03 de Diciembre de 2011

Hernández González, H. I. (2014). *Diseño y construcción de una interfaz para comunicar los*

dispositivos de la red eléctrica con la unidad terminal remota. Universidad de

Montemorelos. Recuperado el 02 de Agosto de 2019, de

<http://dspace.biblioteca.um.edu.mx/xmlui/bitstream/handle/20.500.11972/460/Vaitiare%20Ram%C3%ADrez.pdf?sequence=1>

Iglesias, A., Estrela, T., & Gallart, F. (2005). 7. Impactos sobre los recursos hídricos. En *Impactos del cambio climático en España* (págs. 303-354). Recuperado el 10 de Septiembre de 2019, de http://www.jmcprl.net/PUBLICACIONES/F13/CAMBIO%20CLIMAT%20ESPA%C3%91A/07_recursos_hidricos.pdf

IndraCompany. (06 de Noviembre de 2013). *Satélite*. Recuperado el 01 de Septiembre de 2019, de Flickr: <https://www.flickr.com/photos/107807415@N05/10706453963/in/photolist-hj6nKR-ScXqqq-NxFEgW-P4HsBU-M5Zg-Qi21ja-Qi1ZB8-Pc1om5-Pc1nGQ-5CiE2n-Pc1nyU-e4ZyBB-PeJDg8-Pc1o2h-Pc1nwE-Pc1nMQ-Pc1p6G-ag7yin-uRQgx-puU95-b81NBR-28qWEKs-AFape-6e7DwR-tqYMnK-9JQ3Qr-93DRny-8>

Informática Moderna. (2020). *Antena Omnidireccional*. Recuperado el 04 de Mayo de 2020, de http://www.informaticamoderna.com/Antena_indoor.htm

Jaramillo Garzón, H. J., & Quito García, J. P. (2016). *Implementación de un módulo de instrumentación para medir y controlar variables de presión, temperatura, caudal y nivel, en el Laboratorio de Automatización Industrial en la Facultad de Mecánica de la ESPOCH*. Riobamba: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Recuperado el 01 de Octubre de 2019

Jinan USR IOT Technology. (2020). *USR-TCP232-410S Serial to Ethernet Converter, Modbus RTU to TCP*. Recuperado el 06 de Mayo de 2020, de USR IOT: <https://www.usriot.com/products/modbus-serial-to-ethernet-converters.html>

Llamas, L. (15 de Marzo de 2017). *Implementar un filtro de media móvil rápido en arduino*.

Recuperado el 07 de Mayo de 2020, de <https://www.luisllamas.es/arduino-filtro-media-movil/>

Lucio Cruz, M. A., & Trávez Pillo, O. (2005). *Telemetría y control de alarmas de los tanques de presión de las centrales generadoras de Illuchi con la ayuda de la plataforma LabVIEW*.

Latacunga: Escuela Superior Politécnica del Ejército. Recuperado el 15 de Agosto de 2019

Lux Monroy, M. A. (2010). *Medidores de flujo en canales abiertos*. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala. Recuperado el 05 de Septiembre de 2019

MikroTik. (2020). *Groove 52*. Recuperado el 03 de Mayo de 2020, de

<https://mikrotik.com/product/RBGroove52HPnr2>

Ministerio de Electricidad y Energía Renovable. (Abril de 2012). *Especificaciones Técnicas*

SCADA/OMS/MWM/DMS. Recuperado el 11 de Agosto de 2019, de Proyecto SIGDE: <https://docplayer.es/1142390-Tabla-de-contenido-especificaciones-tecnicas-scada-oms-mwm-dms-02-arquitectura-2-1.html>

NOVUS. (2003-2019). *LogBox-RHT-LCD - Registrador Electrónico de Umedad y Temperatura*.

Recuperado el 18 de Octubre de 2019, de NOVUS Productos Electrónicos:

https://www.novusautomation.com/site/default.asp?TroncoID=621808&SecaoID=735409&SubsecaoID=0&Template=../catalogos/layout_producto.asp&ProdutoID=848170&Idioma=34#

Pepperl + Fuchs SE. (2020). *Sensores ultrasónicos*. Recuperado el 05 de Agosto de 2020, de

https://www.pepperl-fuchs.com/global/en/classid_182.htm

- Pepperl+Fuchs Group. (2007). *Ultrasonic sensor*. Recuperado el 10 de Agosto de 2020, de UC6000-30GM-E6R2-V15: <https://docs.rs-online.com/9dc1/0900766b800b44e8.pdf>
- Porras Ortiz, E. R. (2011). *Estudio en el banco de pruebas "tutor" para determinar la potencia y eficiencia de las turbinas Pelton y Francis en la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica*. Ambato: Universidad Técnica de Ambato. Recuperado el 20 de Septiembre de 2019
- Rangel, R. (2013). *Medios de transmisión*. Recuperado el 01 de Agosto de 2019, de Universidad Virtual del Estado de Guanajuato UVEG: <http://roa.uveg.edu.mx/repositorio/licenciatura/210/Mediosdetransmision.pdf>
- Red Tauros. (2019). *Radio enlaces terrestres. Microondas*. Recuperado el 05 de Octubre de 2019, de Red Tauros.
- Salazar Polanco, M. E. (2015). *Análisis del sistema de información de la dirección de comercialización de la Empresa Eléctrica Quito 2009-2014 y escenarios para la implementación de un nuevo sistema*. Quito: Escuela Politécnica Nacional. Recuperado el 07 de Agosto de 2019
- Schneider Electric. (2019). *TWD USE 10AS*. Recuperado el 07 de Mayo de 2020, de Controladores programables Twido. Guía de referencia de hardware: https://download.schneider-electric.com/files?p_enDocType=User+guide&p_File_Name=31004123K01001.pdf&p_Doc_Ref=31004123K01001
- Shenzhen Friendcom Telecom Co.,Ltd. (2010). *FC-201/SP*. Recuperado el 06 de Mayo de 2020, de <http://img04.b2b.hc360.com/pic-4/handbook-pic-6/4-6-75546.pdf>
- Siemens. (01 de Enero de 2018). *Lista de precios, productos industriales eléctricos*. Recuperado el 18 de Octubre de 2019, de

<https://www.industry.siemens.com/home/aan/es/ecuador/Documents/lista%20de%20precios.pdf>

Silver Instruments. (2020). *El principio de funcionamiento del sensor de nivel ultrasónico*.

Recuperado el 02 de Mayo de 2020, de <https://es.silverinstruments.com/blog/the-working-principle-of-ultrasonic-level-sensor.html>

Smith, H. L. (Abril de 2010). A brief History of Electric Utility Automation Systems. *Electric Energy T&D Magazine*, 14, 39-44.

Telecomunicaciones TICS. (2014). 6.6. *Comunicación por infrarrojo*. Recuperado el 10 de Octubre de 2019, de Instituto Tecnológico de Aguascalientes:

[https://telecomunicaciones2.webnode.mx/unidad-6/a6-6-comunicacion-por-infrarrojo- /](https://telecomunicaciones2.webnode.mx/unidad-6/a6-6-comunicacion-por-infrarrojo/)

Tigse Bravo, W. P. (2010). *Diseño e implementación de un módulo data logger enlazados con una red zigbee, para registros de datos de variables ambientales*. Latacunga: Escuela Politécnica del Ejército. Recuperado el 04 de Agosto de 2019

Tomasi, W. (2003). *Sistemas de Comunicaciones Electrónicas* (Cuarta Edición ed.). México D.F.: Pearson Educación. Recuperado el 25 de Septiembre de 2019

Tonato Muzo, M. C. (2009). *Diseño e implementación de un sistema de monitoreo del nivel de combustible para los tanques de la central de generación en el campo Cuyabeno Petroproducción*. Ambato: Universidad Técnica de Ambato. Recuperado el 25 de Agosto de 2019

Vallejo, H. D. (2019). PLC Los controladores lógicos programables. *Saber Electrónica*(166), 3-11.

Virual Expo Group. (2019). *Unidades terminales remotas*. Recuperado el 18 de Octubre de 2019, de Directy Industry: <https://www.directindustry.es/fabricante-industrial/unidad-terminal-remota-95772.html>

Wolf, S., & Smith, R. (1992). *Guía para mediciones electrónicas y prácticas de laboratorio*. México D.F.: Pearson Educación. Recuperado el 03 de Agosto de 2019

ANEXOS