



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE INGENIERÍA EN SISTEMAS ELECTRÓNICA E INDUSTRIAL

CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y COMUNICACIONES

TEMA:

“CONTROL AUTOMÁTICO Y MONITORIZACIÓN DEL SISTEMA DE CAPTACIÓN DE AGUA PARA LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA “RÍO VERDE CHICO”

Trabajo de titulación modalidad: Proyecto de Investigación, presentado previo a la obtención del título de Ingeniera en Electrónica y Comunicaciones.

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: **Sistemas de Control**

AUTOR: **Mónica Isabel Reino Cárdenas**

TUTOR: **Ing. Giovanni Danilo Brito Moncayo, Mg.**

AMBATO – ECUADOR

Febrero 2021

APROBACIÓN DEL TUTOR

En calidad de tutor del Trabajo de Titulación con el tema: CONTROL AUTOMÁTICO Y MONITORIZACIÓN DEL SISTEMA DE CAPTACIÓN DE AGUA PARA LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA “RÍO VERDE CHICO”,

desarrollado bajo la modalidad presencial por la señorita Mónica Isabel Reino Cárdenas, estudiante de la Carrera de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial, de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial, de la Universidad Técnica de Ambato, me permito indicar que el estudiante ha sido tutorado durante todo el desarrollo del trabajo hasta su conclusión, de acuerdo a lo dispuesto en el Artículo 15 del Reglamento para obtener el Título de Tercer Nivel, de Grado de la Universidad Técnica de Ambato, y el numeral 7.4 del respectivo instructivo.

Ambato, febrero 2021.



Firmado electrónicamente por:
**GEOVANNI DANILO
BRITO MONCAYO**

Ing. Geovanni Danilo Brito
Moncayo, Mg.

TUTOR

AUTORÍA

El presente Proyecto de Investigación titulado: CONTROL AUTOMÁTICO Y MONITORIZACIÓN DEL SISTEMA DE CAPTACIÓN DE AGUA PARA LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA “RÍO VERDE CHICO”, es absolutamente original, auténtico y personal. En tal virtud, el contenido, efectos legales y académicos que se desprenden del mismo son de exclusiva responsabilidad del autor.

Ambato, febrero 2021.



Mónica Isabel Reino Cárdenas

C.C. 1805012331

AUTORA

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

En calidad de par calificador del Informe Final del Trabajo de Titulación presentado por la señorita Mónica Isabel Reino Cárdenas, estudiante de la Carrera de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial, de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial, bajo la Modalidad presencial, titulado CONTROL AUTOMÁTICO Y MONITORIZACIÓN DEL SISTEMA DE CAPTACIÓN DE AGUA PARA LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA “RÍO VERDE CHICO”, nos permitimos informar que el trabajo ha sido revisado y calificado de acuerdo al Artículo 17 del Reglamento para obtener el Título de Tercer Nivel, de Grado de la Universidad Técnica de Ambato, y al numeral 7.6 del respectivo instructivo. Para cuya constancia suscribimos, conjuntamente con la señora Presidenta del Tribunal.

Ambato, febrero 2021.

Ing. Elsa Pilar Urrutia Urrutia, Mg.
PRESIDENTA DEL TRIBUNAL

Ing. Mg. Edgar Patricio Córdova
DOCENTE CALIFICADOR

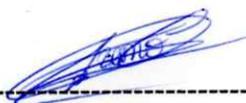
Ing. Mg. Santiago Mauricio Altamirano
DOCENTE CALIFICADOR

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga uso de este Trabajo de Titulación como un documento disponible para la lectura, consulta y procesos de investigación.

Cedo los derechos de mi Trabajo de Titulación en favor de la Universidad Técnica de Ambato, con fines de difusión pública. Además, autorizo su reproducción total o parcial dentro de las regulaciones de la institución.

Ambato, febrero 2021.



Mónica Isabel Reino Cárdenas

C.C. 1805012331

AUTORA

DEDICATORIA

Este trabajo lo dedico principalmente a mis padres Martha y Wilson, quienes han sido pilares fundamentales en mi vida, ya que gracias a su esfuerzo, dedicación y tolerancia hicieron posible que yo haya podido cumplir un gran sueño. A mis tíos Pedro y Rosalba con quienes he podido contar y me han apoyado con su consejo durante momentos difíciles. A mi primo Nimrod quien me ayudó a llegar a tiempo a clases en época de proyectos finales y siempre me motivó a continuar a pesar del cansancio. A mis amigos, debido a que fueron una gran compañía y llenaron de grandes recuerdos mi experiencia universitaria. A la memoria de mis antepasados, ya que siento que han sido ángeles en mi vida que han iluminado mi camino. Y me lo dedico a mí como muestra de que puedo lograr alcanzar las metas que me proponga a pesar de existir adversidades y problemas.

Mónica

AGRADECIMIENTO

Doy gracias a Dios sobre todas las cosas por ayudarme a dar pasos firmes durante el cumplimiento de esta pequeña gran meta, por iluminarme cuando mis días se tornaban difíciles y por brindarme la gran oportunidad de vivir para ser feliz.

A mis docentes, y de manera especial a mi tutor de tesis, Ing. Brito, quien ha tenido la paciencia y sabiduría para guiarme a lo largo de este proceso de titulación.

También agradezco a mis padres quienes siempre apoyan mis sueños y luchan todos los días para que yo logre cumplirlos, y a todas las personas especiales que de manera directa o indirecta me han ayudado a lo largo de mi carrera universitaria con su amistad, consejo, apoyo, ánimo y compañía y a pesar de no poder citarlos uno a uno espero que sigan siendo ángeles en la vida de otras personas.

También agradezco a Hernán, quien creyó en mi capacidad como profesional y me dio una oportunidad de aprender de su conocimiento y experiencia.

Y finalmente un Dios le pague a la Universidad Técnica de Ambato en especial a mi querida facultad “FISEP” que día a día abre sus puertas a miles de soñadores en busca de un futuro mejor y hace la labor más importante, que es educar y formar profesionales decentes y éticos.

Mónica

ÍNDICE GENERAL

PORTADA.....	i
APROBACIÓN DEL TUTOR.....	ii
AUTORÍA.....	iii
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO	iv
DERECHOS DE AUTOR	v
DEDICATORIA	vi
AGRADECIMIENTO	vii
ÍNDICE GENERAL.....	viii
ÍNDICE DE TABLAS	xiii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xvi
RESUMEN.....	xxii
ABSTRACT.....	xxiii
INTRODUCCIÓN	xxiv
CAPÍTULO I.....	1
MARCO TEÓRICO.....	1
1.1 Antecedentes Investigativos	1
1.2 Contextualización del problema	4
1.3 Fundamentación Teórica	5
1.3.1 Centrales de Generación Hidroeléctrica.....	5
1.3.2 Sistema de una Central Hidráulica.....	8
1.3.3 Elementos Principales de una Central Hidráulica.....	10
1.3.4 Sistema de Monitoreo y Control	15
1.3.5 Sensores	16
1.3.6 Actuadores.....	19
1.3.7 Motores eléctricos	20
1.3.8 Guardamotor	22

1.3.9	Controladores Industriales	23
1.3.10	Comunicaciones Inalámbricas	27
1.3.11	Radio Enlace	27
1.3.12	Cámaras IP	29
1.3.13	Sistemas De Automatización y Control Industrial.....	30
1.3.14	SCADA	30
1.3.15	DCS	31
1.4	Objetivos	32
1.4.1	Objetivo general	32
1.4.2	Objetivos específicos	33
CAPÍTULO II		35
METODOLOGÍA		35
2.1.	Materiales	35
2.2.	Justificación	35
2.3.	Delimitación	37
Delimitación de contenidos.....		37
Delimitación espacial		37
Delimitación temporal.....		37
2.4.	Propuesta de solución	37
Modalidad de la investigación		38
Recolección de la información.....		38
Procesamiento y análisis de datos		39
Desarrollo del proyecto		39
CAPITULO III.....		41
RESULTADOS Y DISCUSIÓN		41
3.1.	Introducción.....	41
3.2.	Estudio de factibilidad	42

3.2.1.	Factibilidad técnica	42
3.2.2.	Factibilidad económica	43
3.2.3.	Factibilidad bibliográfica	43
3.3.	Situación actual de operación de la central hidroeléctrica Río Verde Chico.	43
3.3.1.	Proyecto hidroeléctrico Río Verde Chico	43
3.3.2.	Descripción de la zona.	44
3.3.3.	Caudales de diseño	45
3.3.4.	Esquema general del proyecto hidroeléctrico Río Verde Chico	46
3.3.5.	Sistema de captación de agua.....	46
3.3.6.	Sistema de casa de máquinas	64
3.4.	Sistema de captación de agua de la central hidroeléctrica Río Verde Chico y rendimiento general de la planta.	67
3.5.	Sistema de monitoreo de la cuenca hidrológica del Río Verde Chico.	73
3.5.1.	Requerimientos técnicos del sistema de monitoreo de la cuenca hidrológica del Río Verde Chico.....	73
3.5.2.	Búsqueda de puntos críticos o afluentes importantes en la cuenca hidrológica del río Verde Chico.	74
3.5.3.	Delimitación de superficie para el monitoreo de la cuenca hidrológica del Río Verde Chico.	76
3.5.4.	Búsqueda de tecnologías y equipos adecuados a las características climáticas de la cuenca hidrológica del río Verde Chico.	79
3.5.5.	Selección de tecnología y equipos adecuados para el sistema de monitoreo de la cuenca hidrológica del Río Verde Chico.....	82
3.5.6.	Diseño del sistema de monitoreo de la cuenca hidrológica del Río Muyo	95
3.5.7.	Presupuesto del sistema de monitoreo de la cuenca hidrológica del Río Muyo	111

3.6.	Sistema de control automático y monitorización del sistema de captación de agua de la central hidroeléctrica Río Verde Chico.....	112
3.6.1.	Requerimientos técnicos del sistema de control automático y monitorización del sistema de captación de agua de la central hidroeléctrica Río Verde Chico.	112
3.6.2.	Selección de equipos y tecnología para el monitoreo y control del sistema de captación de agua de la central hidroeléctrica Río Verde Chico.	113
3.6.3.	Diseño del monitoreo y control del sistema de captación de agua de la central hidroeléctrica Río Verde Chico.....	124
3.6.4.	Elaboración de un sistema SCADA de monitoreo de variables en tiempo real.	136
3.6.5.	Presupuesto del sistema de monitoreo y control del sistema de captación de agua de la central hidroeléctrica Río Verde Chico.....	142
3.7.	Implementación del prototipo de monitoreo y control para el sistema de captación de agua.	143
3.7.2.	Diagrama de conexiones	144
3.7.3.	Instalación de paquetes mqtt y node red para raspbian.....	149
3.7.4.	Condiciones de funcionamiento de la maqueta.....	150
3.7.5.	Programa Principal Configurado en la tarjeta Raspberry	151
3.7.6.	Relación de turbidez de agua en NTU vs cantidad en gramos de sedimentos por litro de agua	161
3.7.7.	Funcionamiento.....	168
3.7.8.	Presupuesto del prototipo del sistema de control y monitoreo del sistema de captación de agua de la central hidroeléctrica Río Verde Chico.	170
	CAPITULO IV.....	172
	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	172
4.1.	Conclusiones	172
4.2.	Recomendaciones	174
	BIBLIOGRAFÍA	175

ANEXOS	186
--------------	-----

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Ventajas y desventajas de las Centrales hidroeléctricas.	6
Tabla 2. Comparación entre los diferentes tipos de actuadores.	20
Tabla 3. Características del tipo de motores.	21
Tabla 4. Cuadro comparativo entre diferentes marcas de PLC.	26
Tabla 5. Diferencias entre SCADA y DCs.	32
Tabla 6. Caudales medios mensuales en la estación Muyo AJ Pastaza (1966-1998).	45
Tabla 7. Características técnicas de los motores utilizados en las compuertas de control de flujo de entrada y control de flujo de salida de las compuertas.	59
Tabla 8. Características técnicas de sensor piezoeléctrico de nivel de agua sumergible.	60
Tabla 9. Tabla de resumen de valores medidos de nivel del tanque de carga.	61
Tabla 10. Características de sensor encoder Hohner.	62
Tabla 11. Características técnico/Generales de los generadores de energía de la central hidroeléctrica Río Verde Chico.	66
Tabla 12. Resumen de paradas del mes de julio 2019	70
Tabla 13. Comparación entre tecnologías de comunicación inalámbrica.	80
Tabla 14. Comparación técnica del estándar 802.11.	81
Tabla 15. Descripción de materiales a utilizar en sistema de monitoreo de cuenca hidrológica del río Muyo.	83
Tabla 16. Características de paneles solares	84
Tabla 17. Características entre baterías para sistema de alimentación	86
Tabla 18. Características entre radios para estación base	87
Tabla 19. Cuadro comparativo de antenas para radio enlace	89
Tabla 20. Comparación entre pararrayos Franklin.	91
Tabla 21. Comparación entre categorías de cable Ethernet	92
Tabla 22. Análisis técnico de cámaras IP domo para exteriores.	93
Tabla 23. Análisis técnico de Router para exteriores.	94
Tabla 24. Detalles técnicos de simulación de radio enlace entre Captación y el río Cristal.	98

Tabla 25. Detalles técnicos de simulación de radio enlace entre Punto de repetición y el río Valencia.	100
Tabla 26. Detalles técnicos de simulación de radio enlace entre Punto de repetición y Quebrada Montañita.....	102
Tabla 27. Detalles técnicos de simulación de radio enlace entre Punto de repetición y Quebrada del Palacio.....	104
Tabla 28. Detalles técnicos de simulación de radio enlace entre Punto de repetición y río Muyo.....	106
Tabla 29. Detalles técnicos de simulación de radio enlace entre Punto de repetición y Captación.....	108
Tabla 30. Presupuesto del sistema no monitoreo de la cuenca hidrológica del Río Muyo.	111
Tabla 31. Materiales para el sistema de monitoreo y control.....	113
Tabla 32. Análisis técnico de PLC vigentes en el mercado	114
Tabla 33. Análisis de motores trifásicos	116
Tabla 34. Análisis técnico de sensores de nivel vigentes en el mercado	117
Tabla 35. Análisis técnico del sensor de turbidez	118
Tabla 36. Análisis técnico de fuentes de alimentación.	119
Tabla 37. Análisis técnico de paneles HMI vigente en el mercado.	120
Tabla 38. Análisis técnico de botón de paro de emergencia.	121
Tabla 39. Análisis técnico de final de carrera.	122
Tabla 40. Análisis técnico de luces piloto.....	123
Tabla 41. Presupuesto del sistema de monitoreo y control del sistema de captación de agua de la central hidroeléctrica Río Verde Chico.....	142
Tabla 42. Materiales de procesamiento de datos y señales para el prototipo de monitoreo y control.	144
Tabla 43. Materiales electrónicos para el monitoreo y control de cada compuerta de purga.....	145
Tabla 44 Valores configurados de turbidez y nivel de agua para simulación.....	150
Tabla 45 Condiciones de apertura y cierre de compuertas.	150
Tabla 46. Relación de diámetro de partículas en base a tipos de turbinas	161
Tabla 47. Relación de diámetro de partícula en base a caída neta	161

Tabla 48. Muestreo de valores de turbidez en base a concentración de sedimentos en el agua.	166
Tabla 49. Parametrización de ecuación lineal de relación turbidez vs concentración (gramos).	167
Tabla 48. Presupuesto del prototipo del sistema electrónico de monitoreo y control para el sistema de captación de agua.....	170
Tabla 51 Descripción de eventos de parada de unidades y tiempo de duración. [46]	186

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Esquema de Captación de Río Verde Chico.....	9
Figura 2. Presa de hormigón de gravedad	11
Figura 3. Presa de hormigón de bóveda.....	11
Figura 4. Tubería forzada o de presión	12
Figura 5. Rueda Pelton.....	13
Figura 6. Turbina Francis.	14
Figura 7. Turbina Kaplan	14
Figura 8. Radio Enlace.	28
Figura 9. Cámara domo IP para exterior.	30
Figura 10. Diagrama del Sistema SCADA.	31
Figura 11. Ubicación del proyecto hidrológico Río Verde Chico	44
Figura 12. Variación de las precipitaciones con la altitud de la cuenca del río Verde Chico.	45
Figura 13. Esquema general del proyecto hidroeléctrico Río Verde Chico.....	46
Figura 14. Plano descriptivo de las instalaciones de captación de agua de la central hidroeléctrica Río Verde Chico.....	47
Figura 15. Sensor de medición de nivel de agua del embalse	48
Figura 16. Controlador indicador para sensor de nivel.....	48
Figura 17. Vista frontal de azud en sistema de captación de agua de la central Río Verde Chico	49
Figura 18. Desagües de fondo de agua.	49
Figura 19. Vista superior de compuerta radial 2.....	50
Figura 20. Escalera de peces.	51
Figura 21. Toma lateral de estructura de apertura para la compuerta de la escalera de peces.....	51
Figura 22. Rejilla de entrada principal.....	52
Figura 23. Vista de rejilla principal de entrada desde la loza del sistema de captación de agua.	52
Figura 24. Tecles cubiertos utilizados para remoción de rejillas de limpieza.	53
Figura 25. Cámara desripiadora en funcionamiento normal en el sistema de captación de agua de la central hidroeléctrica Río Verde Chico.....	54

Figura 26. Desripiador lleno de sedimentos pétreos antes de su limpieza.....	55
Figura 27. Volante de apertura y cierre de compuerta manual de purga del Desripiador	55
Figura 28. Estructura para la apertura y cierre de compuertas de entrada a las cámaras desarenadoras.	56
Figura 29. Cámaras desarenadoras en sistema de captación de agua de la central Río Verde Chico.	57
Figura 31. Cámara desarenadora antes de ser lavada.....	58
Figura 30. Desarenadores en funcionamiento normal.	58
Figura 32. Vista panorámica de ubicación de compuertas de purgas de cámaras desarenadoras.	58
Figura 33. Tanque de carga del sistema de captación de agua de la central hidroeléctrica Río Verde Chico.....	60
Figura 34. Sensor de nivel de agua piezoeléctrico sumergible.	61
Figura 35. Encorder ubicado en estructura de compuerta de ingreso de agua hacia la tubería de conducción.	62
Figura 36. Estructura de apertura y cierre de compuerta de purga del tanque de carga.	63
Figura 37. Implantación general del proyecto	63
Figura 38. Diagrama unifilar de la central hidroeléctrica Río Verde Chico.	65
Figura 39. Vista superior de unidades de generación marca WKV en la central hidroeléctrica Río Verde Chico.....	66
Figura 40. Limpieza de tanque desripiador por personal civil.....	67
Figura 41. Limpieza de tanques desarenadores.	67
Figura 42. Limpieza de tanque de carga por personal civil.	68
Figura 43. HMI del sistema de captación de agua.	68
Figura 44. Sección COMPUERTAS del HMI de captación.	69
Figura 45. Sección AUXILIAR del HMI de captación.	69
Figura 46. Curva de caudales registrados en julio 2019.	70
Figura 47. Producción de potencia vs caudal de julio del 2019.....	71
Figura 48. Limpieza de embalse y desalojo de rocas.....	71
Figura 49. Horas de operación y parada de la planta desde abril de 2019 hasta julio de 2019.....	72

Figura 50. Factor de planta de los meses de abril a julio del 2019.	73
Figura 51. Gráfica descriptiva del sistema de monitoreo de la cuenca hidrológica del río Muyo.....	74
Figura 52. Visualización de afluentes más importantes de la cuenca del río Muyo en la zona desde captación de agua de la central Hidroeléctrica Río Verde Chico hasta Vizcaya.....	75
Figura 53. Enlace desde sector de captación al punto de visualización del río Cristal.	76
Figura 54. Enlace desde sector de punto de repetición, al punto de visualización del río Valencia.	77
Figura 55. Enlace desde sector del punto de repetición al punto de visualización de la quebrada Montañita.....	77
Figura 56. Enlace desde sector de punto de repetición, hasta el punto de visualización de la quebrada del Palacio.....	78
Figura 57. Enlace desde sector de punto de repetición, hasta el punto de visualización del río Muyo.....	78
Figura 58. Enlace desde sector de captación de agua de central hidroeléctrica, hasta punto de repetición.....	79
Figura 59. Enlace punto multipunto.....	82
Figura 60. Instalación fotovoltaica convencional.	85
Figura 61. Panorama general del radio enlace diseñado para el monitoreo de la cuenca hidrológica del río Muyo para la central hidroeléctrica Río Verde Chico.	96
Figura 62. Radio enlace y simulación de factibilidad con detalle de zona de Fresnel.	97
Figura 63. Radio enlace y simulación en radio mobile.....	97
Figura 64. Radio enlace y simulación de factibilidad con detalle de zona de Fresnel.	99
Figura 65. Radio enlace y simulación en radio mobile.....	99
Figura 66. Radio enlace y simulación de factibilidad con detalle de zona de Fresnel.	101
Figura 67. Radio enlace y simulación en radio mobile.....	101
Figura 68. Radio enlace y simulación de factibilidad con detalle de zona de Fresnel.	103

Figura 69. Radio enlace y simulación en radio mobile.....	103
Figura 70. Radio enlace y simulación de factibilidad con detalle de zona de Fresnel.	105
Figura 71. Radio enlace y simulación en radio mobile.....	105
Figura 72. Radio enlace y simulación de factibilidad con detalle de zona de Fresnel.	107
Figura 73. Radio enlace y simulación en radio mobile.....	107
Figura 74. Vista general de radio enlace en software RADIO MOBILE.	109
Figura 75. Vista general de radio enlace en software Google Earth.....	110
Figura 76. Gráfica descriptiva del sistema de monitoreo y control de las compuertas de purga de captación de agua.	113
Figura 77. Método main.....	125
Figura 78. Inicio, paro de emergencia.....	126
Figura 79. Rangos de nivel de los sensores	127
Figura 80. Accionamiento del motor.	128
Figura 81. Normalización y linealización de sensores.....	128
Figura 82. Rango de sensores.	129
Figura 83. Giro del motor derecha o izquierda.	130
Figura 84. Finales de carrera.....	131
Figura 85. Porcentaje de apertura de compuertas.	132
Figura 86. Indicadores de estado.....	133
Figura 87. Apertura de la compuerta.	134
Figura 88. Protecciones del sistema.....	135
Figura 89. Bloque de arranque estrella triángulo.....	135
Figura 90. Arranque estrella triángulo.....	136
Figura 91. Escenario Factory IO.....	137
Figura 92. Mandos de las compuertas.....	137
Figura 93. Pantalla SCADA del sistema de monitoreo y control.	138
Figura 94. Pantalla de inicio de sesión.....	139
Figura 95. Lista de usuarios.	139
Figura 96. Diagrama de fuerza para la compuerta de purga.	140
Figura 97. Diagrama de fuerza de luces piloto.	141
Figura 98. Prototipo de monitoreo y control del sistema de captación de agua.	143

Figura 99. Prototipo de monitoreo y control del sistema de captación de agua con agua turbia.	143
Figura 100. Prototipo de monitoreo y control del sistema de captación de agua, en el Río Verde Chico.....	144
Figura 101. Diagrama de conexiones de monitoreo y control del sistema de captación de agua, en el Río Verde Chico.....	148
Figura 102. Instalación y configuración Nod-Red.....	150
Figura 103. Diagrama de flujo del proceso de monitoreo y control de compuertas de purga.....	157
Figura 104. Configuración de programa en Nod-Red	158
Figura 105. Indicadores de nivel de agua y turbidez en Nod-Red.....	158
Figura 106. Gráficos en tiempo real de mediciones de nivel y turbidez de agua en Nod-Red.	159
Figura 107. Conexiones de Raspberry PI con módulos PCF-8574 y PCF-8591.	159
Figura 108. Conexiones en borneras para el prototipo de monitoreo y control de las compuertas de purga.	160
Figura 109. Mando de control y monitoreo de compuertas de purga.	160
Figura 110. Medición de turbidez en base a concentración de sedimentos.	162
Figura 111. Sedimentos filtrados a 0.6mm de diámetro.	162
Figura 112. Medición de turbidez en agua limpia	163
Figura 113. Medición de turbidez con una concentración de 1 gr/lit	164
Figura 114. Medición de turbidez con una concentración de 2 gr/lit	164
Figura 115. Medición de turbidez con una concentración de 4 gr/lit	165
Figura 116. Medición de turbidez en muestra de agua tomada luego de un aluvión.	166
Figura 117. Relación turbidez vs concentración.....	168
Figura 118. Tanque 1, 2, 3, con buen nivel de agua y turbidez alta y compuerta 4 con bajo nivel de agua y turbidez alta.....	168
Figura 119. Compuerta 1, 2, 3, con señal de apertura y compuerta 4 con señal de cierre.	169
Figura 120. Tanques 1, 2, 3, 4 con buen nivel de agua y alta turbidez.....	169
Figura 121. Compuerta 1, 2, 3, 4 con señal de apertura.....	170

Figura 122. Elaboración de maqueta para prototipo de sistema electrónico de monitoreo y control de compuertas de purga del sistema de captación de agua.....	189
Figura 123. Elaboración de sistema de ductos para compuertas de purga de desarenadores.	190
Figura 124. Prototipo en funcionamiento del sistema de monitoreo y control de compuertas de purga.	190
Figura 125. Prototipo del sistema de monitoreo y control de compuertas de purga.	191
Figura 126. Prototipo del sistema de monitoreo y control de compuertas de purga en la casa de máquinas de la central hidroeléctrica Río Verde Chico.	191

RESUMEN

La central hidroeléctrica Río Verde Chico es alimentada por el río que lleva su mismo nombre que nace de la cordillera de los Llanganatis con el nombre de Río Muyo y está formada por pequeños afluentes, en época de lluvias provocan derrumbes, aluviones y deslizamiento de tierras, hechos que afectan directamente al cauce del río induciendo crecidas repentinas con cantidades muy altas de sedimentos pétreos, arena, troncos de árboles y demás desechos vegetales, lo que influye en el caudal del agua, dificultando su monitoreo y sistema de captación, por esta razón el objetivo de esta investigación es desarrollar un sistema de monitoreo de la cuenca hidrológica del río Muyo, que permita brindar a la hidroeléctrica Río Verde Chico, una visión panorámica de los sucesos en tiempo real.

Dentro de los principales resultados de la aplicación del control automático y seguimiento del sistema de captación de agua en la central hidráulica Río Verde Chico, se optimizó la respuesta del personal que labora en la Central Hidroeléctrica ante eventos críticos.

El proceso de monitoreo continuo se estableció a parámetros como: nivel de agua en cada etapa del proceso, turbidez de agua, control de la apertura o cierre de las compuertas encargadas del ingreso o salida del flujo; los datos arrojados permitieron tomar acciones adecuadas y oportunas para el correcto funcionamiento del sistema de captación de agua y de la planta de generación eléctrica.

Palabras claves: Central hidroeléctrica, Río Verde Chico, Cuenca hidrológica, Automatización, Turbidez, Nivel de agua, Compuertas de Purga.

ABSTRACT

The Río Verde hydroelectric power station is fed by the river that bears the same name that rises from the Llanganatis mountain range and is made up of small tributaries, in the rainy season they cause landslides, alluvium and landslides, facts that directly affect the riverbed of the river. river inducing flash floods with very high amounts of stony sediments, sand, tree trunks and other plant debris, which influences the flow of water, making it difficult to monitor and catchment system, for this reason the objective of this research is to develop a monitoring system of the hydrological basin of the Muyo River, which allows providing the Río Verde Chico hydroelectric plant with a panoramic view of events in real time.

Among the main results of the application of automatic control and monitoring of the water collection system in the Río Verde Chico hydraulic plant, the response of the personnel working at the Hydroelectric Plant in the event of critical events was optimized.

The continuous monitoring process was established at parameters such as: water level in each stage of attraction, water turbidity, control of the opening or closing of the gates responsible for the entry or exit of the flow; The data obtained allowed taking appropriate and timely actions for the correct operation of the water collection system and the electricity generation plant..

Keywords: Hydroelectric plant, Rio Verde Chico, Hydrological basin, Automation, Turbidity, Water level, Purge gates.

INTRODUCCIÓN

En el Ecuador, en la región amazónica o en la zona “hacia el río Amazonas”, es en donde se produce la mayor cantidad de energía. En el Anuario Meteorológico del 2015 publicado por el INNAMHI, destaca aspectos como las dificultades más comunes que presenta la central hidroeléctrica Río Verde Chico que al no tener un sistema de monitoreo de las quebradas y afluentes más importantes en el cauce del río, dificulta su intervención oportuna ante eventos de crecida del caudal o altas sedimentaciones acarreadas por la fuerza del agua hacia el sistema de captación. Esto colma el embalse de desechos, por la turbidez del agua y los sedimentos que se acumulan en los tanques, provocando obstrucción de las rejillas.

El Consejo Nacional de Electricidad (CONELEC) en su informe relacionado con los Aspectos de sustentabilidad y sostenibilidad social y ambiental refiere que para precautelar la integridad de los equipos se tiene que parar la producción de la planta energética; estos acontecimientos causan pérdidas económicas que son irradiadas en indicadores como: alto factor de indisponibilidad de la planta que muestra la cantidad de horas que la central pasa fuera de servicio, lo que incide en su nivel de confiabilidad respecto de la potencia real producida en relación con la potencia ideal calculada. La presente investigación pretende desarrollar un sistema de monitoreo de la cuenca hidrológica del río Muyo, que permita brindar a la hidroeléctrica Río Verde Chico, una visión panorámica de los sucesos en tiempo real, para esto, el presente trabajo se estructura bajo el siguiente esquema:

Capítulo I. En el cual se establece un marco teórico enfocado en la importancia de contar con un sistema de monitoreo de una cuenca hidrológica, así como también se realizó una revisión de los antecedentes investigativos que sustentaron este trabajo, su contextualización a nivel mundial, del Ecuador y sobre todo del lugar de estudio; la construcción teórica levantada permitió ser material de consulta para trabajos

similares; finalmente, se plantean los objetivos de investigación a los que se dio respuesta durante la investigación.

Capítulo II. En el cual se desarrolló el marco metodológico, en el que se delineó la justificación, delimitación de la investigación y sobre todo se especializó en la modalidad de investigación y la manera en que se recolectó y procesó la información para el desarrollo de la respectiva propuesta.

Capítulo III. La información recopilada en este capítulo fue analizada y discutida permitiendo visualizar la factibilidad técnica, económica y bibliográfica; así como, la descripción del sistema, en relación con la explicación de la zona, diseño y el esquema general del proyecto con su respectivo sistema de captación de agua y de casa de máquinas. En este capítulo se incluyó la parte diagnóstica, los requerimientos técnicos necesarios y la selección de la tecnología y equipamiento adecuado. Finalmente, se planteó el diseño, elaboración e implementación del prototipo de monitoreo y control para el sistema de control de agua de la Central Hidroeléctrica.

Capítulo IV. Finalmente, en este capítulo se plantearon las conclusiones en correspondencia con los objetivos de la investigación y las recomendaciones en relación con las conclusiones.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1 Antecedentes Investigativos

A nivel mundial el agua representa uno de los recursos hídricos más importantes, en virtud de que ayuda para la salud y vida de los seres vivos, durante las dos últimas décadas se ha producido una crisis mundial debido al inadecuado manejo y despilfarro de este recurso, así como la presencia de diferentes fenómenos climáticos que ha conllevado a la escasez del mismo, es claro, que este recurso no es aprovechado adecuadamente y se desperdicia en cantidades altas. Según el informe del estado de la hidroelectricidad (2019), en el mundo se puso en funcionamiento más de 21.8 gigavatios (GW) de capacidad hidroeléctrica renovable, esto es factible debido a los proyectos de energía hidroeléctrica, que alcanzaron una producción estimada de 4200 teravatios hora (TWh). Dentro de los países que se han convertido en los principales productores de energía hidroeléctrica por capacidad instalada, China 3540 megavatios, Brasil 3866 MW, Pakistán 2.487 MW, Turquía 1.085 MW, Angola 668 MW, Tayikistán 605 MW, Ecuador 556 MW, India 535 MW, Noruega 419 MW y Canadá 401 MW [1].

En América Latina y el Caribe la generación hidráulica está encabezando la lista a través del proceso de generación eléctrica con un 49.9% y en segundo lugar la generación térmica con 42.1%, de acuerdo con el estudio: “La capacidad instantánea de generación eléctrica” de la publicación Panorama Energético de América Latina y el Caribe del 2016 [2].

En la publicación Panorama Energético de América Latina y el Caribe 2018, elaborada por la Organización Latinoamericana de Energía, en el 2017 se registra 634684 mil habitantes en América Latina y el Caribe, con un consumo energético per cápita 2.051 KWh/hab [3].

En resumen, se establece que las energías renovables dentro del enfoque marco energético cobra especial interés, estas energías son las más utilizadas para la generación hidráulica, además que se destaca la sensibilidad que cobra los efectos medioambientales, sobre todo de los represamientos de los ríos, esto sumado a los elevados costes de transporte a largas distancias de la electricidad.

En enero del 2018 el ARCONEL elaboró un bosquejo en el que constan el número de centrales de generación hidráulica ubicadas en el territorio ecuatoriano, en total son 44 con generación menor a 20 MW, y 19 con una generación entre 20 MW y 1500 MW. El ARCONEL en enero del 2018 también publicó la generación de energía por zonas del Ecuador, dividiendo el territorio en dos partes: “hacia el Océano Pacífico” y “hacia el río Amazonas”. La potencia efectiva producida en centrales hidroeléctricas en la zona “hacia el Océano Pacífico” es de 557.22 MW, mientras que la potencia efectiva en la zona “hacia el río Amazonas” es de 3958.73 MW [4].

En el año 2009, Andrés Humberto Cañar expuso su proyecto “Diseño e Implementación de un Sistema SCADA para la Central Hidroeléctrica La Península”, en Sangolquí, donde expone que mediante el sistema implementado se pudo controlar la cantidad necesaria de agua para la conexión y desconexión del sistema de Generación. Con esta implementación además se pusieron en marcha motores que estuvieron parados por varios años y siendo también controlados desde el mismo sistema. Finalmente, el autor concluyó que el programa es totalmente amigable y comprensible, además de constituir un gran adelanto para la central pues con poco presupuesto se logró una operación y ejecución efectiva de un modo útil, fácil de aprender y sin riesgos para los operadores [6].

En el año 2010, Edwin Xavier Domínguez y Diego Orlando Logroño llevaron a cabo una investigación titulada “Diseño e implementación del control automático y monitoreo del nivel del embalse en la central hidroeléctrica Agoyán”, en Quito. En el trabajo se implementó el sistema SCADA y la interfaz gráfica ControCad para el control automático del nivel del embalse, supervisar el nivel del agua en el Río Pastaza a la altura del cantón Baños y controlar el grado de apertura de sus seis compuertas de erogación [7].

Luis Chico en 2015, presenta un trabajo titulado: “Sistema inalámbrico para control y monitoreo de la planta de tratamiento de agua potable del cantón baños” en Ambato, dónde se detalla la solución al problema planteado mediante la implementación de un sistema SCADA para las etapas de captación, tratamiento y distribución de agua, se usó comunicaciones inalámbricas para monitorear en tiempo real todo el proceso brindando al operador una facilidad de reacción eficiente ante circunstancias anómalas [8].

En el 2015 también, González de Hoyos, González Vargas y Manqueros Avilez presentaron un trabajo titulado: “Implementación de un sistema SCADA para el monitoreo en tiempo real de temperatura y nivel en silos de almacenamiento de leche” en Lerdo, dónde con la implementación de este proyecto se automatizó el proceso, evitando que el operador realice revisiones periódicas (4 veces al día) de temperatura y nivel de los silos de almacenamiento de leche. Con la tecnología implementada se desea evitar los errores de medición ya que la empresa no puede permitir cambios en las propiedades de la leche. Finalmente, lo que se logró dejar expuesto que los sistemas SCADA son una aplicación para la integración de los procesos industriales, que ofrecen muchas ventajas en eficacia y optimización de los procesos industriales. Por ello, la automatización que presenta una industria basada en software SCADA tiene un nivel más alto que hoy en día se puede ver [9].

En el 2016, Julio Cuenca y Edison Rivera presentan un trabajo en Loja titulado: “Propuesta de automatización de las compuertas del canal de riego del ramal de la parroquia limones del cantón Zapotillo”, dónde los autores describen la operación y funcionamiento del canal de riego del ramal “Limonos” ubicado en el cantón Zapotillo, en Loja-Ecuador. Además, después de realizar la verificación del número de compuertas existentes en el mismo han desarrollado el rediseño para la apertura y cierre de las mismas en base al cálculo de la potencia del motor-reductor, a esto se suma el análisis de los elementos mecánicos que intervienen para su operación [10].

Para Fátima Quishpe (2017) presenta un trabajo titulado: “Diseño de un prototipo de sistemas SCADA para el monitoreo de captación, almacenamiento y distribución de agua

potable para la EP-EMAPAR.” En Riobamba, donde el autor realizó un sistema SCADA para el monitoreo de los procesos involucrados en la captación, almacenamiento y distribución de agua potable, a fin de orientar a la ejecución de acciones que permitan la gestión adecuada en la toma de decisiones oportunas, y eficiente del recurso hídrico dentro de esta institución, los beneficios evidentes fueron: la disminución de costos de operación, el incremento de producción y eficiencia de la planta de potabilización de agua [11].

También en el 2017, en Riobamba, Mario Villacrés presenta un trabajo titulado: “Diseño e instalación de un sistema de control, supervisión y monitoreo para la compuerta de restitución tipo vagón de la Central Hidroeléctrica San Francisco mediante el uso de un PLC de una interfaz humana – máquina.” El autor explica la manera en la que se desarrolló un sistema de control, supervisión y monitoreo para la compuerta de restitución tipo vagón de la Central Hidroeléctrica San Francisco mediante la utilización de un Controlador Lógico Programable (PLC) y una Interfaz Humano – Máquina (HMI), este sistema permite la salida de agua turbinada de las dos unidades de generación y a su vez evita el ingreso de agua desde el río Pastaza cuando la central se encuentra fuera de servicio [12].

1.2 Contextualización del problema

El río Verde Chico nace de la cordillera de los Llanganates con el nombre de río Muyo, y su cuenca está formada por pequeños afluentes que en época de lluvias provocan derrumbes, aluviones y deslizamiento de tierras; estos sucesos afectan directamente al cauce del río induciendo crecidas repentinas con cantidades muy altas de sedimentos pétreos, arena, troncos de árboles y demás desechos vegetales.

Los problemas más comunes de la central hidroeléctrica Río Verde Chico son que al no poseer un sistema de monitoreo de las quebradas y afluentes más importantes en el cauce del río, no se puede actuar de manera oportuna ante eventos de crecida del caudal del río o altas sedimentaciones acarreadas por la fuerza del agua hacia el sistema de captación, y por lo tanto al llenarse el embalse de desechos, por la turbidez del agua, los sedimentos son acarreados a los tanques provocando obstrucción de rejillas. Para precautelar la

integridad de los equipos se tiene que parar la producción de la planta energética; estos sucesos causan pérdidas económicas que son reflejadas en indicadores como: alto factor de indisponibilidad de la planta que muestra la cantidad de horas con la central fuera de servicio y un factor bajo de confiabilidad de la planta que muestra la potencia real producida con respecto a la potencia ideal calculada.

Mediante el sistema de monitoreo de las quebradas más importantes afluentes del río Verde Chico, la central hidroeléctrica tiene una visión global de los sucesos en los puntos más críticos del río, tales como: aluviones, deslizamientos, derrumbes, por lo tanto, pueden actuar de manera oportuna para salvaguardar sus equipos y obra civil, mediante el control automático de las compuertas de purga, se considera evacuar los sedimentos oportunamente sin poner en riesgo los generadores de energía.

La implementación del control automático y monitorización del sistema de captación de agua en la central hidráulica Río Verde Chico, mejora la respuesta del personal que labora en la Central Hidroeléctrica ante eventos críticos, como: incremento de nivel de agua, alta turbidez del agua, crecidas del caudal del río, derrumbes, aluviones, deslizamientos de tierra en el cauce del río. Mediante el monitoreo continuo de los parámetros más importantes dentro del sistema de captación como son: nivel de agua en cada etapa de captación, turbidez de agua, flujo de agua, se controla la apertura o cierre de las compuertas encargadas del ingreso o salida del flujo: adicionalmente, se da una visión panorámica de los sucesos que ocurren en la cuenca hidrológica del río Verde Chico, para tomar acciones adecuadas y oportunas que permitan el correcto funcionamiento del sistema de captación de agua y de la planta de generación eléctrica.

1.3 Fundamentación Teórica

1.3.1 Centrales de Generación Hidroeléctrica

La central de generación hidroeléctrica es una instalación que permite aprovechar las masas de agua en movimiento que circulan por los ríos para transformarlas en energía

eléctrica utilizando turbinas [13]. Bajo este contexto Thales plantea ventajas y desventajas de la utilización de las centrales de generación hidroeléctrica:

Tabla 1. Ventajas y desventajas de las Centrales hidroeléctricas. [12]

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> • No requieren combustible, sino que usan una forma renovable de energía que es constantemente repuesta por la naturaleza. • Es limpia, pues no contamina ni el aire ni el agua. • A menudo puede combinarse con otros beneficios, como riego, protección contra las inundaciones, suministro de agua, caminos, navegación y aún ornamentación del terreno y turismo. • Los costos de mantenimiento y explotación son bajos. • Las obras de ingeniería necesarias para aprovechar la energía hidráulica tienen una duración considerable. • La turbina hidráulica es una máquina sencilla, eficiente y segura, que puede ponerse en marcha y detenerse con rapidez y requiere poca vigilancia siendo sus costes de mantenimiento, por lo general, reducidos 	<ul style="list-style-type: none"> • Los costos de capital por kilovatio instalado son con frecuencia muy altos. • El emplazamiento, determinado por características naturales, puede estar lejos del centro o centros de consumo y exigir la construcción de un sistema de transmisión de electricidad, lo que significa un aumento de la inversión y en los costos de mantenimiento y pérdida de energía. • La construcción lleva mayor tiempo en comparación con la de las centrales termoeléctricas. <p>La disponibilidad de energía puede fluctuar de estación en estación y de año en año</p>

Según el informe presentado por Ecovive [14] las centrales se clasifican de acuerdo a los siguientes parámetros:

a. Según altura de salto hidráulico:

Centrales de alta presión. Son las centrales con alturas de salto hidráulico superiores a los 200 m. Como máquinas motrices se utilizan, generalmente, turbinas Pelton o, para los saltos de menor altura, turbinas Francis lentas.

Centrales de media presión. Son las centrales con alturas de salto hidráulico comprendidas entre 20 y 200 m. Las máquinas motrices empleadas son las turbinas Francis medias y rápidas, correspondiendo estas últimas a los saltos de menor altura, dentro de los límites.

Centrales de baja presión. Son centrales con alturas de salto hidráulico, inferiores a 20 m. Es la zona de utilización de las turbinas Francis extra-rápidas, de las turbinas de hélice y, sobre todo, de las turbinas Kaplan.

b. Cardozo [15] plantea la clasificación de acuerdo al tipo de infraestructura:

Centrales al aire libre. En las centrales al aire libre la casa de máquinas, que es dónde se encuentran las turbinas, generadores y más elementos de regulación y control, suelen estar al pie de la presa y conectadas por medio de tuberías de presión.

Centrales en caverna. Las centrales de caverna son aquellas donde su casa de máquinas se encuentra en medio de subterráneos o interiores de la montaña al cual se acceden por túneles y se encuentran conectadas al embalse por tuberías de presión y túneles.

c. Según su régimen de flujo:

De agua fluyente. Las centrales de agua fluyente son aquellas que utilizan total o parte del flujo de un cauce o río para mover una turbina y esta a su vez un generador eléctrico. Operan de forma continua, ya que no tienen el embalse ni la infraestructura para almacenar el agua. No son habituales, ya que dependen de la capacidad de captación del agua y de la conducción de la tubería de presión. Las turbinas son de eje horizontal cuando es baja la pendiente.

De embalse. - Las centrales de embalse utilizan infraestructura ya sea artificial mediante construcción de diques o natural para almacenar el agua e ir graduando la misma para que pase por la turbina con la finalidad de generar energía durante todo el año si se dispone de reservas suficientes.

Potencia generada: de potencia (mayores a 10MW), mini centrales (entre 1 a 10 MW) y micro centrales (menores a 1MW) [15]

1.3.2 Sistema de una Central Hidráulica

Sistema de casa de máquinas

La casa de máquinas o sala de turbinas es el lugar que contiene el equipo electromecánico destinado a la transformación de energía cinética del agua en energía mecánica y ésta en energía eléctrica. También cuenta con la maquinaria auxiliar necesaria para su funcionamiento. Las disposiciones adoptadas para las casas de máquinas varían en dependencia de las circunstancias y condiciones del aprovechamiento hidroeléctrico [16].

Su diseño físico depende del número de máquinas a utilizar y del tamaño de las mismas. Sus principales elementos son:

- Empalme: entre la tubería de presión y válvula de entrada.
- Válvula: dedicada a controlar el flujo de agua hacia la turbina.
- Turbina: es la que transforma la energía mecánica en energía eléctrica.
- Subestación: eleva el voltaje de salida del generador para facilitar el transporte de la energía hacia los centros de consumo.
- Canal de salida: es la estructura que conduce las aguas turbinadas hacia el río o canal de riego.

Sistema de captación de agua

El sistema de captación del agua es el que está relacionado con la desviación del caudal del agua hacia la central, además de asegurar la confiabilidad del servicio y de la calidad del agua. Cuando se hace referencia a la calidad, significa que el sistema debe tener obras de filtración de sólidos que pueden afectar la vida útil de la turbina y todas las partes electromecánicas de la central de generación. [16]

Un sistema de captación de agua provoca un desnivel que origina una cierta energía potencial acumulada. El paso del agua por la turbina desarrolla en la misma un movimiento giratorio que acciona el alternador y produce la corriente eléctrica [13]. El sistema de captación completo de la central hidroeléctrica Río Verde Chico se describe en la Figura 1, donde se aprecia cada una de las etapas para que el producto final sea agua con baja sedimentación para la producción energética.

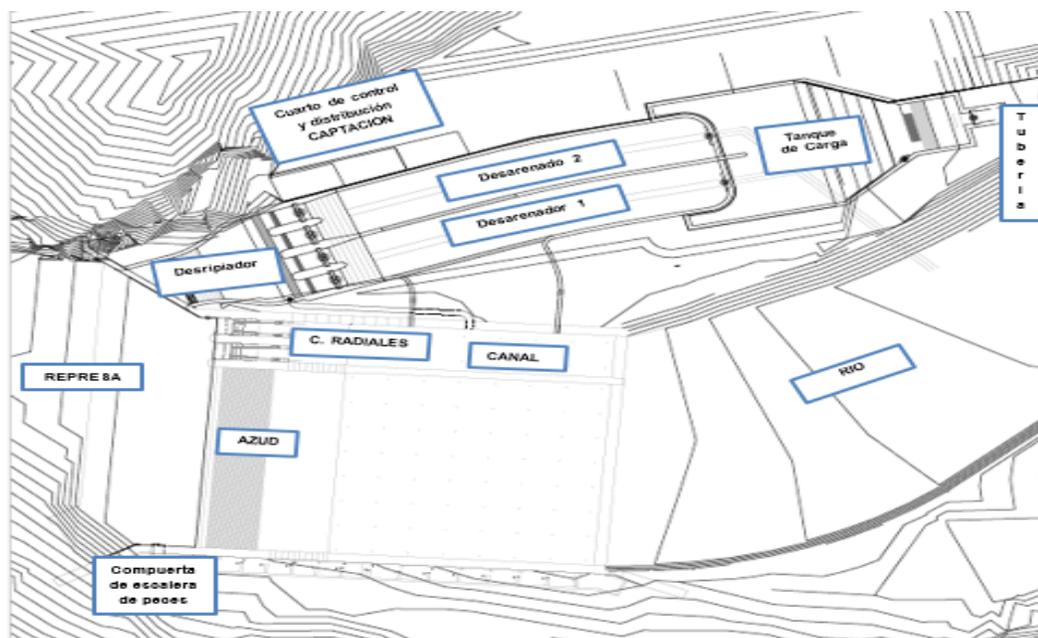


Figura 1. Esquema de Captación de Río Verde Chico. [16]

1.3.3 Elementos Principales de una Central Hidráulica

Presa Hidráulica

El primer elemento que encontramos en una central hidroeléctrica es la presa, la cual es una barrera fabricada con piedra, hormigón o materiales sueltos, que se construye habitualmente apoyada en una montaña o desfiladero, sobre un río o arroyo [13].

La presa hidráulica se encarga de retener el agua en el cauce fluvial con diferentes finalidades: para su posterior aprovechamiento en abastecimiento o regadío; para elevar su nivel con el objetivo de derivarla a canalizaciones de riego; para proteger una zona de sus efectos dañinos; o para la producción de energía eléctrica [14].

Thales [13], concluye que con estas construcciones se logra un determinado nivel del agua antes de la contención, y otro nivel diferente después de la misma. Ese desnivel se aprovecha para producir energía, según del tipo de presas:

Las presas pueden clasificarse por el material empleado en su construcción en:

- Presa de tierra.
- Presa de hormigón.

Las presas de hormigón son las más utilizadas y se puede a su vez clasificar en:

- De gravedad: tienen un peso adecuado para contrarrestar el momento de vuelco que produce el agua, como se muestra en la Figura 2:

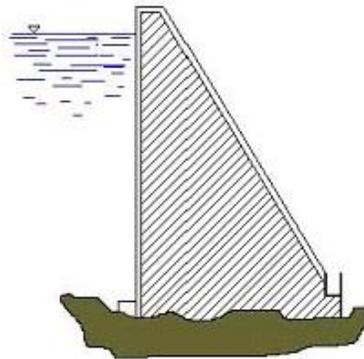


Figura 2. Presa de hormigón de gravedad [12]

- De bóveda: necesita menos materiales que las de gravedad y se suelen utilizar en gargantas estrechas. En estas la presión provocada por el agua se transmite íntegramente a las laderas por el efecto del arco, como se muestra en la Figura 3:

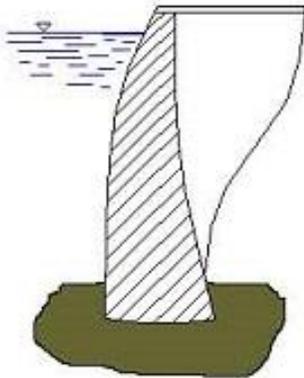


Figura 3. Presa de hormigón de bóveda [12] [13]

Thales [13] y Ecovive [14], plantea una serie de definiciones importantes para el desarrollo de este trabajo:

Embalse. Es el volumen de agua que queda retenido, de forma artificial, por la presa. Se suele colocar en un lugar adecuado geológica y topográficamente. Se puede emplear para generar electricidad, abastecer de agua las poblaciones, regadío, entre otros.

Toma de Agua. Son construcciones que permiten recoger el agua para llevarlo hasta las turbinas por medios de canales o tuberías. Se sitúan en la pared anterior de la presa, la que da al embalse. En el interior de la tubería, el agua transforma la energía potencial en

cinética, es decir, adquiere velocidad. Estas tomas, además de unas compuertas para regular la cantidad de agua que llega a las turbinas, poseen unas rejillas metálicas que impiden que elementos extraños como troncos, ramas, etc. puedan llegar a los álabes y producir desperfectos. Desde aquí, el agua pasa a la tubería forzada que atraviesa a presión el cuerpo de la presa.

Tubería Forzada o de Presión. Con el fin de impulsar al fluido y mejorar la capacidad de generación de la presa, el agua se hace correr a través de una gran tubería llamada Tubería Forzada o de Presión (Figura 4), especialmente diseñada para reducir las pérdidas de energía que se pudieran producir, llevando el agua hasta la turbina en la casa de máquinas. Esta tubería tiene que soportar la presión que produce la columna de agua, además del sobre-presión que provoca el golpe de ariete en caso de parada brusca de la minicentral. Dependiendo de la orografía del terreno y de los factores medioambientales, la colocación de la tubería forzada será subterránea o exterior. Para alturas de salto inferiores a unos 15 m basta con un canal sin carga de presión; pero cuando la altura de salto es superior al límite citado, deben emplearse conducciones forzadas.

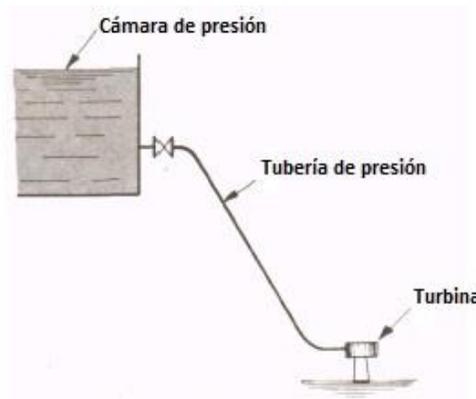


Figura 4. Tubería forzada o de presión [5]

Aliviaderos. Los aliviaderos son elementos vitales de la presa que tienen como misión liberar parte del agua detenida sin que este pase por la sala de máquinas. Se encuentran en la pared principal de la presa y pueden ser de fondo o de superficie. Para evitar que el agua pueda producir desperfectos al caer desde gran altura, los aliviaderos se diseñan para que

la mayoría del líquido se pierda en una cuenca que se encuentra a pie de presa, llamada de amortiguación. Para conseguir que el agua salga por los aliviaderos existen grandes compuertas, de acero que se pueden abrir o cerrar a voluntad, según la demanda de la situación.

Turbinas. Las turbinas son máquinas capaces de transformar la energía hidráulica en energía mecánica en su eje de salida. Su acoplamiento mediante un eje a un generador permite la creación de energía eléctrica. Existen tres tipos principales de turbinas hidráulicas. El más conveniente dependerá en cada caso del salto de agua y de la potencia de la turbina:

- Rueda Pelton: conviene para saltos grandes. La regulación se logra por medio de una aguja colocada dentro de la tubería. Este tipo de turbina se emplea para presiones elevadas [12]

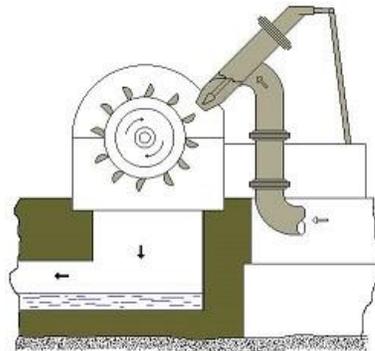


Figura 5. Rueda Pelton [12]

- Turbina Francis: conviene para saltos medianos. Las palas son alabeadas lo cual permite que el agua entre en una dirección y salga en otra a 90° sin remolinos ni pérdidas adicionales de carácter hidrodinámico [12]

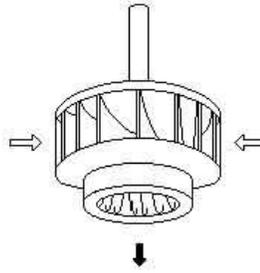


Figura 6. Turbina Francis. [13]

- Turbina Kaplan o de hélice: conviene para saltos pequeños. Tienen álabes móviles para adecuarse al estado de la carga. Estas turbinas aseguran un buen rendimiento aún con bajas velocidades de rotación. [12]

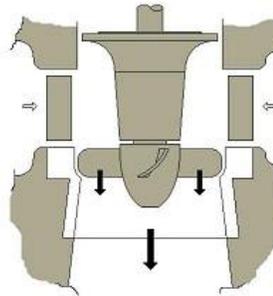


Figura 7. Turbina Kaplan [12]

Transformadores. Son el equipo que se encarga de convertir la corriente de baja tensión en una corriente de alta tensión y disminuir la intensidad de la corriente eléctrica. De este modo, se transmite la energía con las mínimas pérdidas posibles [13]. Ciriollo clasifican a los transformadores en:

a. Por su operación:

- Transformadores de distribución: manejan potencias que van desde 5 hasta 500 Kva.
- Transformadores de potencia: manejan tensiones superiores a los 500 Kva. [15]

b. Por el número de fases:

- **Monofásicos:** pueden ser transformadores de potencia o de distribución, los cuales cuentan con solo un devanado tanto de baja como de alta, se encuentran conectados a una fase y un neutro o tierra.
- **Trifásicos:** pueden ser transformadores tanto de potencia como de distribución. Constan de tres bobinados tantos en alta como en baja y los mismos pueden o no ser conectados a tierra o neutro [16].

Línea Eléctrica de Interconexión. Se denomina así al conjunto de medios formados por generadores eléctricos, transformadores, líneas de transmisión y líneas de distribución utilizados para llevar la energía eléctrica a los elementos de carga. Con esta finalidad son utilizadas diferentes tensiones para limitar la caída de tensión en las líneas. Las más altas son usadas en las distancias más largas y de mayores potencias. El papel del transformador es el más importante ya que se encarga de bajar la tensión a un nivel de voltaje de tipo residencial [16].

Compuertas. Son utilizadas para cerrar los conductos de agua (canales y tuberías), así como para regular el caudal de agua en dichas conducciones. En los aprovechamientos hidroeléctricos, las compuertas se sitúan en las tomas de agua, en los desagües de fondo, en los canales de derivación, etc. Tienen las mismas características constructivas, aunque hay que considerar que las compuertas sometidas a grandes presiones deben ser de construcción más robusta que las compuertas que han de resistir pequeñas presiones. [13]

1.3.4 Sistema de Monitoreo y Control

Un sistema de control es el conjunto de elementos o partes organizadas que interactúan entre sí, valorizando el cumplimiento de sus objetivos mediante parámetros de control estipulados y aplicando medidas correctivas en el caso de desviarse de los objetivos para satisfacer una función deseada [17].

Los sistemas de monitoreo son aquellos que se implementan en las industrias, con el objetivo de visualizar en tiempo real la variación de estados de sensores o actuadores dentro de un proceso y mediante esto optimizar los recursos disponibles, así como un apropiado uso del agua en los sistemas hidráulicos de abastecimiento, centros de consumo o descargas, donde es necesario medir y/o conservar constantes algunas magnitudes, como la presión de una línea de abastecimiento, el nivel de una cisterna o el gasto instantáneo en una estación de re-bombeo. El monitoreo generalmente significa ser consciente del estado de un sistema, para observar una situación de cambios que se pueda producir con el tiempo, o sea que no interviene ninguna cuestión manual o automatizada sobre el control de las variables, es únicamente la visualización de los cambios en la instrumentación según las condiciones del sistema; este monitoreo puede realizarse con el personal y sus herramientas en mano, o bien con la intervención automática de los equipos de instrumentación integrados con dispositivos de transmisión a través de redes locales o remotas, que envíen información a un monitor o a un panel de administración de las variables [18].

1.3.5 Sensores

Los sensores son dispositivos electrónicos con la capacidad de detectar la variación de una magnitud física tales como temperatura, iluminación, movimiento y presión; y de convertir el valor de ésta, en una señal eléctrica ya sea analógica o digital. Son elementos idóneos que convierten las variaciones de una magnitud física en variaciones de una magnitud eléctrica o magnética. En la industria, los sensores son dispositivos encargados de percibir las variables físicas, tales como: presión, temperatura, pH, nivel, flujo, entre otras, controladas por un sistema que sigue una serie de instrucciones para verificar si el proceso está o no está funcionando [19].

Entre los sensores principales según Castaño [20] se encuentran:

- Sensor de presión: se tienen 2 puntos en donde se mide presión, antes de la válvula de alivio y también a la entrada de la turbina. Las mediciones que se realizan son

de gran importancia, debido a que se necesita tener un monitoreo constante de presión para poder llevar a cabo la secuencia de apagado si se llegara a presentar una sobrepresión en la tubería.

- Sensor de velocidad: tiene la función de detectar los cambios que ocurren en la velocidad de la turbina y suministrar una salida proporcional a la misma, que constituirá la señal de entrada al elemento de control.

- Sensor de final de carrera: son sensores de contacto que muestran una señal eléctrica, ante la presencia de un movimiento mecánico. Son utilizados ampliamente en ambientes industriales para censar la presencia de objetos en una posición específica y se utilizan en diversas aplicaciones. Pueden determinar la presencia, ausencia, paso y posicionamiento de un objeto. El sensor emite una señal de Encendido/Apagado basándose en la presencia o ausencia del objeto en cuestión. En un comienzo se los utilizaba para definir el final del recorrido de un objeto, de ahí que se llamen "interruptores de final de carrera".

- Sensor de nivel: el sensor de nivel es un dispositivo que mide la altura de cualquier material, dentro de un medio volumétrico uniforme. El censado de esta variable es muy importante en el proceso de arranque, debido a que si no se tienen una cantidad de agua suficiente no se puede arrancar el sistema. Existen dos tipos de sensores de nivel, el que mide un punto es específico, sea para dar una alarma de nivel bajo, medio o alto; y el sensor de nivel continuo, que brinda un seguimiento de todo el sistema. la empresa OMEGA, resalta a los sensores más comunes están:
 - Interruptores de flotador,
 - sensor de nivel ultrasónico sin contacto,
 - sensor de nivel ultrasónico d contacto,
 - sensor de nivel por capacitancia

- Sensor de turbidez: el sensor de turbidez es aquel que mide la cantidad relativa de sólidos suspendidos en el agua y otros líquidos provocando que la luz que pasa a través del agua se disperse, esto mediante la medición de conductividad, o la medición de la dispersión de la luz infrarroja en el fluido [21].

- Sensor de temperatura: el sensor de temperatura es aquel que utiliza las características físicas de materiales como: conductores y semiconductores, que son capaces de variar sus características eléctricas en función de la temperatura. Estos sensores varían debido a que existen materiales semiconductores con el coeficiente de temperatura negativo (a incremento de temperatura, decremento de resistencia), y materiales con coeficiente de temperatura positivos (a incremento de temperatura, incremento de resistencia.) [22]. Dentro de la gama de sensores de temperatura tenemos la siguiente clasificación:
 - Termistor.
 - RTD
 - Termopar.
 - NTC
 - PTC

- Sensor de flujo de intercambio o de caudal: El caudal es la variable más importante que se tiene en el sistema, debido a que no solo se debe medir sino también controlar ya que al ser sometida a algún ajuste este influye de manera inmediata en un cambio en la salida del sistema (potencia) [20]. El sensor de flujo es aquel que mide la cantidad de fluido circulante por una sección en una unidad de tiempo y existen algunos sensores que mediante métodos como: el flotador, trayectoria o estructuras de medida nos brindan este dato de caudal. Los sensores de caudal existentes en el mercado son para tuberías por donde transita el fluido. Pero los sensores ultrasónicos son muy comunes para el cálculo del caudal en un área abierta [23].

1.3.6 Actuadores

Los actuadores son dispositivos inherentemente mecánicos cuya función es proporcionar fuerza para mover o “actuar” otro dispositivo mecánico, la fuerza que provoca el actuador proviene de tres fuentes posibles: Presión neumática, presión hidráulica, y fuerza motriz eléctrica, dependiendo del origen de la fuerza el actuador se denomina “neumático”, “hidráulico” o “eléctrico” [9].

- Actuadores neumáticos: los actuadores neumáticos utilizan el aire comprimido como fuente de energía y son muy indicados en el control de movimientos rápidos, pero de precisión limitada. Los motores hidráulicos son recomendables en los manipuladores que tienen una gran capacidad de carga, junto a una precisa regulación de velocidad. Existen dos tipos de actuadores neumáticos: [24]
 - Cilindros neumáticos
 - Motores neumáticos (de aletas rotativas o de pistones axiales).
- Actuadores hidráulicos: Este tipo de actuadores no se diferencia mucho de los neumáticos, solo que en vez de aire se utilizan aceites minerales a una presión comprendida normalmente entre los 50 y 100 bar, llegándose en ocasiones a superar los 300 bar. El grado de compresibilidad de los aceites usados es considerablemente menor al del aire, por lo que la precisión obtenida en este caso es mayor. Por motivos similares, es más fácil en ellos realizar un control continuo y las elevadas presiones de trabajo, diez veces superiores a las de los actuadores neumáticos, permiten desarrollar elevadas fuerzas y pares. Este tipo de actuadores presenta estabilidad frente a cargas estáticas. Esto indica que el actuador es capaz de soportar cargas, como el peso o una presión ejercida sobre una superficie, sin aporte de energía (para mover el embolo de un cilindro sería preciso vaciar este de aceite). También es destacable su elevada capacidad de carga y relación potencia-peso, así como sus características de auto lubricación y robustez [24].
- Actuadores eléctricos: son usados para posicionar dispositivos de movimientos lineales o rotacionales. Incorporan la combinación de un motor y un reductor, los cuales

transmiten el torque necesario para el accionamiento puede ser de una compuerta o una válvula. Suele venir integrado de un control que acciona o detiene el funcionamiento del actuador. Los actuadores eléctricos también son muy utilizados en los aparatos mecánicos. Gonzáles [9] estima que dentro de los actuadores eléctricos pueden distinguirse tres tipos diferentes:

- Motores de corriente continua (DC). Servomotores
- Motores paso a paso
- Motores de corriente alterna (AC)

Tabla 2. Comparación entre los diferentes tipos de actuadores. [8]

	Neumáticos	Hidráulicos	Eléctricos
Energía	Aire a presión (5-10 bar)	Aceite mineral (50-100 bar)	Corriente eléctrica
Opciones	Cilindros Motor de paletas Motor de pistón	Cilindros Motor de paletas Motor de pistones axiales	Corriente continua Corriente alterna Motor paso a paso Servomotor
Ventajas	Baratos Rápidos Sencillos Robustos	Rápidos Alta relación potencia-peso Autolubricantes Alta capacidad de carga Estabilidad frente a cargas estáticas	Precisos Fiabes Fácil control Sencilla instalación Silenciosos
Desventajas	Dificultad de control continuo Instalación espacial (compresor, filtros) Ruidoso	Difícil mantenimiento Instalación especial (filtros, eliminación aire) Frecuencias fugas Caros	Potencia Limitada

1.3.7 Motores eléctricos

Un motor eléctrico como una máquina eléctrica rotatoria responsable de transformar la energía eléctrica en energía mecánica. Hay dos tipos muy comunes de motores: los

monofásicos y los trifásicos [25]. Gonzales, plantea las características de este tipo de motores:

Tabla 3. Características del tipo de motores. [8]

Motor monofásico	Motor trifásico
<ul style="list-style-type: none"> • Un motor monofásico funciona a través de una fuente de potencia monofásica. • En el cableado de un motor monofásico, podemos encontrar dos tipos de cables: uno caliente y otro neutro. • Poseen una potencia de hasta 3KW. • En un sistema monofásico, los voltajes de alimentación varían al unísono. • Pueden alimentarse entre una fase y el neutro. • Preferido para el uso en hogares, oficinas, tiendas, empresas pequeñas no industriales y en algunos casos en fábricas pequeñas debido a que alcanza los requerimientos de potencia de estos lugares. Su uso dentro de grandes áreas o sectores es muy raro. • No produce un campo magnético rotatorio, solo pueden crear un campo alterno. Esto significa que primero tiran en una dirección y luego de manera contraria. Asimismo, al no generar un campo rotatorio no puede arrancar por sí solo. Necesita de un condensador para el arranque. • Consta de una parte fija (estator) y otra móvil (rotor). • La ejecución de un motor monofásico puede ser un poco más ruidosa y con vibraciones. • Sus aplicaciones pueden ser variadas: para la refrigeración comercial y doméstica, ventilación, calefacción, bombas de agua, compresoras de aire y todo lo que tenga que ver con el movimiento del aire. 	<ul style="list-style-type: none"> • Funciona a través de una fuente de potencia trifásica. Es impulsado por tres corrientes alternas de la misma frecuencia, los cuales alcanzan sus valores máximos de forma alternada. Esto resulta en una transferencia constante de potencia durante cada ciclo de la corriendo, haciendo posible producir un campo magnético rotatorio en el motor. Arranca por sí solo. • En un sistema trifásico, su función alterna entre generar, transmitir y distribuir la energía. • Poseen una potencia de hasta 300KW y velocidades entre 900 y 3600 RPM. • Muy usado en el sector industrial ya que posee una potencia mayor de 150% que un motor monofásico. Asimismo, la energía eléctrica trifásica es el método más común utilizado por las redes eléctricas en todo el mundo debido a que transfieren más potencia. • La energía eléctrica trifásica es más económica ya que usa menos material conductor para transmitir energía. Es decir, disminuye el consumo de energía. • Consta de una parte fija (estator) y otra móvil (rotor). • Tiene una marcha más pareja que el motor monofásico. No produce vibraciones y es mucho menos ruidoso. Su costo suele ser un poco más elevado

<ul style="list-style-type: none"> • Fáciles de reparar y cuidar. • Precio más asequible 	
--	--

Conexión estrella – triángulo

La conexión estrella y triángulo son utilizadas para tener un mejor rendimiento de un motor ya que con estos podrá aumentar su velocidad. En una conexión estrella las bobinas estarán conectadas de tal manera que cada una se comportara como si fueran monofásicas y así producen un voltaje simple. En una conexión triángulo las fases o bobinas estarán conectadas de diferente manera ya que en esta fase o secuencia será un voltaje más desfasado [26]

1.3.8 Guardamotor

El guardamotor se encarga de desconectar el motor en cuanto la corriente (intensidad) que está consumiendo supera en un porcentaje a la corriente nominal que corresponde a la potencia del motor, lo cual es indicativo de un mal funcionamiento del motor y es mejor desconectarlo para evitar que termine por calentarse demasiado y quemarse. Por esta razón se puede clasificar como un elemento de protección. Los guardamotors tienen la capacidad de regular la intensidad del motor y también cuentan con pequeño pulsador o corredera según sea el caso para probar el mecanismo interno y comprobar el buen funcionamiento [27]. Mecafeniz establece 2 tipos de guardamotors, cada uno con diferentes características de disparo.

- Magnético: ofrece protección contra corto circuito, con la capacidad de ajustar el rango máximo de corriente.
- Térmico: este tipo de disparador es ajustable y tiene protección contra la sobrecarga y pérdida de fase de la instalación.
- Magnetotérmico: es la combinación de los 2 tipos de guardamotor. Posee un interruptor (on-off), un relé de sobrecarga y un disparo magnético perfectamente combinados entre sí.

1.3.9 Controladores Industriales

El término PLC, en realidad se corresponde con las siglas en inglés, que hacen alusión a un controlador lógico programable, el cual hace referencia a un aparato electrónico, que cuenta con memoria programable, en la cual se le configuran una serie de funciones, que debe de llevar a cabo por medio de la activación de comandos. [28]

Los PLC se usan en la actualidad en todo tipo de aplicaciones industriales, resolviendo requerimientos en control de procesos y secuencias de la maquinaria, dentro del sector industrial y ha penetrado las aplicaciones domésticas y comerciales con mayor auge en la última década. [29]. Cáceres los PLCs se clasifican en:

- Compactos: están conformados por CPUS, PS, y módulos de entrada y salida en un mismo compartimiento, disponen por igual, de una entrada donde se puede medir la alta velocidad, y a la par cuenta con dos controladores analógicos. [28]
- Modular: Son más variados que los compactos, ya que estos presentan el CPU, en un compartimiento aparte al SM y el CP, y aunque disponen de poco espacio para la distribución o colocación de módulos, existe la posibilidad de amplitud de los mismos. Pueden soportar una gran variedad de entradas y salidas, añadiendo con que cuenta con una memoria más amplia, por lo que pueden albergar un programa más complejo, almacenar una cantidad moderada de datos y pueden realizar o enviar respuestas diferentes a la vez. Su uso se halla destinado para el campo de las maquinarias donde deben ser controladas o monitorizadas. [28]
- Montaje en rack: los módulos no se presentan almacenados todos en un mismo compartimiento o bien se encuentran segmentando, sino que se disponen de un modo organizado en el panel frontal del PLC, algunos expertos consideran que estos pueden brindar una respuesta más pronta a los comandos, dado que permiten un intercambio de datos a mayor velocidad. [28]
- Con panel operador: Cuenta con un interfaz que facilita y optimiza su funcionamiento, y que brindan una supervisión constante y actividad de monitoreo a las actividades que se presentan en las maquinas; especial mención

merece la interfaz ya que esta se presenta con una pantalla y teclas que facilitan la introducción de comandos y por ende la generación de respuestas. [28]

- Aunado a ello, la programación cuenta con una herramienta de software, la cual brinda gran confianza a los usuarios ya que esta además de facilitar las tareas, permite que se pueda llevar a cabo una serie de trabajos con mayor tranquilidad, sabiendo que los comandos envían respuestas más conformes con las deseadas, de modo tal, que el trabajo fluye con mayor correspondencia, siendo estos muy demandados hoy en día. [28]
- Ordenador Industrial: De peculiar conformación, ya que presentan dos Plc, uno que se haya en un pc y el otro en un compartimiento, es posible también que una de estos se encuentre en un área de hardware, mientras que otro se ubique en un espacio con software virtual. [28]
- De ranura: De especial conformación, ya que esta trata de una tarjeta, como todas las que se emplean en el área de la informática, por medio de la cual se transmiten las funciones con mayor facilidad, esto hace que el Plc, sea más versátil pudiendo la misma liviana, ya que consta de una ranura desde la cual se puede controlar la tarjeta. [28]
- Tipo Software: Este es el más moderno de todos, ya que trata en sí de un Plc virtual, es decir, diseñado para que pueda ser adaptado en cualquier ordenador o dispositivo, con la finalidad de que pueda ser empleado o bien monitoreado desde cualquier especial, y llevar a cabo sus funciones con mayor resguardo, por lo que este se trata de un uso más sencillo. [28]
- Banda Baja: Puede trabajar a gran velocidad, como también facilita un campo de frecuencia mucho más amplio, por lo que fácilmente puede monitorear mayor cantidad de señales que pueda percibir. [28]
- Banda Estrecha: Se trata de aquellos que pueden monitorear una frecuencia mínima, es decir, que pueden trabajar o bien maniobrar a un rendimiento inferior, por lo que resulta ideal para el monitoreo de tareas caseras o bien domésticas, más no industriales. [28]

Mientras que la UNED manifiesta que existen tres tipos de señales en un PLC: señales binarias, digitales y analógicas.

- Señales binarias: señal de un bit con dos valores posibles (“0” – nivel bajo, falso o “1” – nivel alto, verdadero), que se codifican por medio de un botón o un interruptor. Una activación, normalmente abre el contacto correspondiendo con el valor lógico “1”, y una no-activación con el nivel lógico “0”. Los límites de tolerancia se definen con interruptores sin contacto. Así el IEC 61131 define el rango de -3 - +5 V para el valor lógico “0”, mientras que 11 - 30 V se definen como el valor lógico de “1” (para sensores sin contacto) a 24 V DC (Fig.12). Además, a los 230 V AC, la IEC 61131 define el rango de 0 – 40 V para el valor lógico de “0”, y 164 – 253 V para el valor lógico “1”.
- Señales digitales: se trata de una secuencia de señales binarias, consideradas como una sola. Cada posición de la señal digital se denomina un bit. Los formatos típicos de las señales digitales son: tetrad – 4 bits (raramente utilizado), byte – 8 bits, word – 16 bits, double word – 32 bits, double long word – 64 bits (raramente utilizado).
- Señales analógicas: son aquellas que poseen valores continuos, es decir, consisten en un número infinito de valores (ej. en el rango de 0 – 10 V). Hoy en día, los PLCs no pueden procesar señales analógicas reales. De este modo, estas señales deben ser convertidas en señales digitales y vice-versa. Esta conversión se realiza por medio de SMs analógicos, que contienen ADC. La elevada resolución y precisión de la señal analógica puede conseguirse utilizando más bits en la señal digital. Por ejemplo, una señal analógica típica de 0 – 10 V puede ser con precisión (pasos para la conversión en una señal digital) desde 0.1 V, 0.01 V o 0.001 V de acuerdo al número de bits que vaya a tener la señal digital.

Cuadro comparativo entre PLCs

Tabla 4. Cuadro comparativo entre diferentes marcas de PLC. [30]

MARCA	Lenguaje y programación	Tipo cable de programación	Software de programación	Tipos de salida	Alimentación Eléctrica	Tipo de montaje	Aplicación
SIEMENS S7-200	KOP (escalera) FUP (booleano) AWL	RS232PP I MP	STEP7 Micro/WIN	PT100 Conteo rápido Digital Analógica	VDC: +24 v VAC: 265 v	Rail tipo DIN	Gama media alta.
FESTO CPX- CEC-M1-V3	KOP (escalera) Lista de instrumentos (Con FST)	RS-232 ETHER NET MMI	PROFINE T GSDML	Válvulas neumáticas	VDC: 24 v	Montaje con pernos para anclar en base solida	Gama media alta.
CROUZET CD12	Bloques de funciones Ladder SCF (Grafcet)	USB 2.0 RS-422	M3 SOFT	Digital Conteo rápido Analógica	VDC: 24 v	Rail tipo DIN	Gama baja
MITSUBISHI IL02SCPU	Ladder AWL Bloques	RS-232	iQ Works	Digital PT1000 Conteo rápido Analógica	VDC: 24 v	Rail tipo DIN	Gama media
OTOSHIBA T2000	Ladder AWL Lenguaje de bloques	RS-232 USB 2.0 ETHER NET	T-PDS win32	Digital PT1000 Conteo rápido Analógica	VDC: 18v-30v	Rail tipo DIN	Gama media
SCHNEIDER M340	Ladder AWL Lenguaje de bloques	USB 2.0	Unity Pro	Digital Conteo rápido Analógica	VDC: 24v, 48v, 125v VDC: 110v, 230 v	Rail tipo DIN	Gama alta

1.3.10 Comunicaciones Inalámbricas

Las comunicaciones inalámbricas son aquellas comunicaciones que surgen debido al desarrollo constante de las aplicaciones que requieren de una velocidad de transferencia de datos mayor, y que las redes de comunicación sean escalables, tengan movilidad y facilidad de acceso. Para ello se desarrolló la norma IEEE 802.11ac, la que opera en 5GHz y es capaz de transmitir a una velocidad en el rango de los Gbps. Esta norma es un adelanto evidente para la tecnología inalámbrica, debido a que incrementa los canales hasta 80MHz, mejora la modulación empleando 256QAM, y da soporte de transmisiones simultáneas a múltiples clientes con el sistema Multi user – MIMO [31].

1.3.11 Radio Enlace

Se denomina radio enlace a cualquier interconexión entre los terminales de telecomunicaciones efectuados por ondas electromagnéticas. También se define al radio enlace del servicio fijo, como un sistema de comunicaciones entre puntos fijos situados sobre la superficie terrestre, que proporcionan una capacidad de información, con características de calidad y disponibilidad determinadas. Típicamente estos enlaces se explotan entre los 800 MHz y 42 GHz [32]. Mientras que Martínez manifiesta que el radio enlaces, establecen un concepto de comunicación del tipo dúplex, de donde se deben transmitir dos portadoras moduladas: una para la Transmisión y otra para la recepción. Al par de frecuencia asignada para la transmisión y recepción de las señales, se lo denomina radio canal. Los enlaces se hacen básicamente entre puntos visibles, es decir, puntos altos de la topografía. Cualquiera que sea la magnitud del sistema de microondas, para un correcto funcionamiento es necesario que los recorridos entre enlaces tengan una altura libre adecuada para la propagación en toda época del año, tomando en cuenta las variaciones de las condiciones atmosféricas de la región [33].

El sistema más básico de radioenlace está formado por 4 elementos principales:

- 1 transmisor

- 1 receptor
- Líneas de transmisión
- Antenas

El transmisor produce una señal de microondas de una frecuencia y potencia determinadas, modulada de una determinada manera, la inyecta en la línea de transmisión, normalmente un cable coaxial, y llega a la antena, que emite la señal hacia el espacio libre. [34]

Siqui considera que la antena del receptor, que apunta a la del emisor, recoge la energía de la señal y la pasa a la línea de transmisión que conecta al receptor, que la demodula y procesa para interpretar la información. [34]

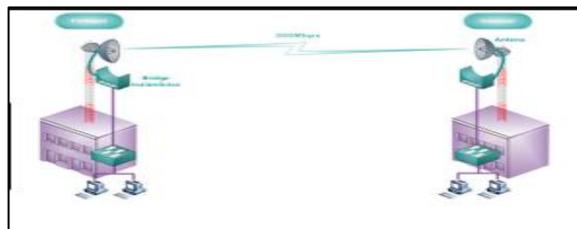


Figura 8. Radio Enlace. [35]

La distancia de funcionamiento está determinada por la frecuencia, el tamaño de la antena y la capacidad del enlace. En los radioenlaces de gran rendimiento, es necesario que exista una línea de visión clara (línea vista) entre las 2 antenas para que la comunicación pueda establecerse [33]. Dependiendo de la frecuencia, podemos clasificar los radioenlaces comerciales en 2 grupos:

- Frecuencia Ultra Alta (UHF): de 0.3 a 3 GHz, como los WIFI de 2.4 GHz o los WiMAX de 2,3 GHz
- Frecuencia Súper Alta (SHF): de 3 a 30 GHz, como la WIFI de 5 GHz o los WiMAX de 5,8 GHz

1.3.12 Cámaras IP

Son dispositivos que captan y transmiten señales de audio/video a través de una red de datos basada en IP (alámbrica o inalámbrica) hasta un dispositivo de almacenamiento de video desde el cual se puede gestionar y administrar la información. A las cámaras se les debe asignar una dirección IP para su conexión a la red. [36]. Para Montero, Sus componentes son:

- Lente.
- Sensor de imagen.
- DSP (Digital Signal Processor)
- CPU.
- Etapa de compresión.
- Tarjeta Ethernet.

Las cámaras IP pueden ser utilizadas tanto en interiores como exteriores y son clasificadas de acuerdo a su funcionalidad en:

- Cámaras IP fijas: disponen de un campo de vista fijo y son utilizadas tanto en interiores como en exteriores.
- Cámaras IP domo fijas: constan de una cámara de red fija dentro de una pequeña carcasa denominada domo. Una de sus principales ventajas es que pueden ser disimuladas debido a su pequeño tamaño.
- Cámaras IP PTZ (Pant Tilt Zoom): pueden moverse de manera horizontal o vertical y poseen opción de zoom ajustable de manera manual o automática. Su utilización es para ambientes interiores.
- Cámaras IP domo PTZ: poseen una mayor flexibilidad para moverse de forma horizontal (360°) y vertical (180°) por lo que cubren una mayor área. También poseen una mejor opción de zoom. Presentan las mismas funcionalidades de una cámara PTZ y son ideales para su uso en exteriores [36].



Figura 9. Cámara domo IP para exterior. [37]

1.3.13 Sistemas De Automatización y Control Industrial

Son herramientas utilizadas en los procesos productivos que puede controlar, supervisar, recopilar datos, analizar datos y generar informes a distancia mediante una aplicación informática. Su principal función es la de evaluar los datos con el propósito de subsanar posibles errores. [38]

1.3.14 SCADA

SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) es un sistema de elementos de software y hardware que permite a las industrias:

- Controlar los procesos industriales de forma local o a distancia.
- Monitorizar, recopilar y procesar datos en tiempo real.
- Interactuar directamente con dispositivos como sensores, válvulas, bombas, motores, señales de tráfico, etc., a través del software de interfaz hombre-máquina (HMI).
- Crear paneles de alarma en fallas de máquinas por problemas de funcionamiento.
- Grabar eventos en un archivo de registro.
- Gestionar el mantenimiento con las magnitudes obtenidas.
- Controlar la calidad mediante los datos recogidos.

El software es crucial para los procesos industriales, ya que ayuda a mejorar en eficiencia, procesar datos para tomar decisiones más inteligentes, y avisar de los problemas del sistema para ayudar a reducir el tiempo de inactividad. [38]

Como se muestra en la Figura 10, la arquitectura básica del sistema SCADA comienza con controladores lógicos programables (PLC) o unidades de terminal remotas (RTU). Los PLC y RTU son microordenadores que se comunican con una gran variedad de objetos, como máquinas, HMI, sensores y dispositivos, y luego redirigen la información desde esos objetos a los ordenadores con el software SCADA. [38]

El sistema procesa, distribuye y muestra los datos, ayudando a los operadores y otros empleados a analizar los datos y tomar decisiones importantes.

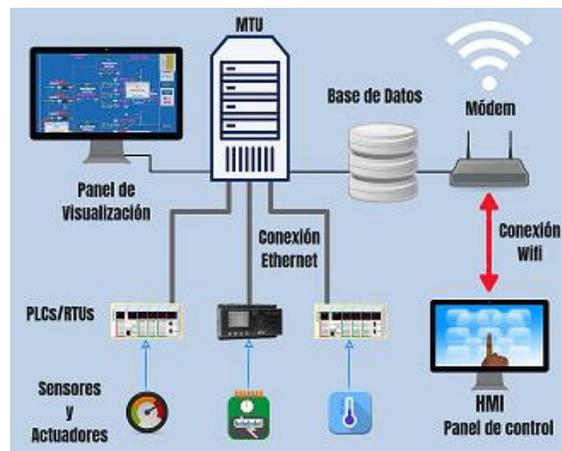


Figura 10. Diagrama del Sistema SCADA. [38]

1.3.15 DCS

DCS (Distributed Control System) es un Sistema de control que funciona a través de una serie de módulos de control automático e independiente, distribuidos en una planta o proceso [34].

Su filosofía es evitar que el control de toda la planta esté centralizado en una sola unidad, que es lo que busca con el SCADA. De modo que, si una unidad de control falla, el resto

de las unidades podría seguir funcionando sin afectación. Se desarrollan sobre la base de dispositivos de control, tales como Controladores o PLCs, en los que un programa de control se encarga de tomar decisiones dependiendo de los datos que reciben en sus entradas. Las decisiones son enviadas hacia actuadores que son los que se encargan de mantener las variables del proceso bajo control en los valores apropiados [38].

Diferencias entre SCADA y DCS

Tabla 5. Diferencias entre SCADA y DCs

Aspecto	SCADA	DCS
Tipo de arquitectura	Centralizada	Distribuida
Tipo de control predominante	SUPERVISIÓN Supervisión y monitoreo a lazo cerrado por operador. No es aconsejable lazos cerrados de control en automático. Adicionalmente: control secuencial y regulatorio.	REGULATORIO Lazos de control cerrados automáticamente por el sistema. Adicionalmente: control secuencial, batch, algoritmos avanzados, etc.
Tipo de variables	Desacopladas	Acopladas
Área de acción	Áreas geográficamente distribuidas	Área de una planta
Unidades de adquisición de datos y control	RTU, PLC	Controladores de lazo, PLC
Medios de comunicación	Radio, satélite, líneas telefónicas, conexión directa, LAN, WAN	Redes de área local, conexión directa
Base de datos	Centralizada	Distribuida

Elaborado por: El Investigador.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

El principal objetivo del presente proyecto se enfoca en: desarrollar un sistema de monitoreo de la cuenca hidrológica del río Muyo, que permita brindar a la hidroeléctrica Río Verde Chico, una visión panorámica de los sucesos en tiempo real que pueden afectar

las condiciones de calidad del agua de este río, puede ser crecidas de caudal, palizadas, aluviones o en general mala calidad de agua por altas sedimentaciones. A más de esto se propone un sistema de monitoreo y control para las compuertas de purga de las instalaciones de captación de agua de esta hidroeléctrica, dónde mediante parámetros como turbidez o nivel, se controlará la apertura o cierre de dichas compuertas para la evacuación de sedimentos decantados por los diferentes tanques que componen la captación de agua.

Para el cumplimiento de dicho objetivo, fue necesario realizar las actividades detalladas en cada objetivo específico.

1.4.2 Objetivos específicos

Estudiar la situación actual de funcionamiento del sistema de captación de agua de la central hidroeléctrica Río Verde Chico.

- Investigación de todos sub sistemas estén involucrados en el sistema de captación de agua de la central hidroeléctrica Río Verde Chico, para conocer la situación actual de operación.
- Evaluación del estado actual del sistema de captación de agua de la central hidroeléctrica Río Verde Chico, respecto a su rendimiento.

Determinar los requerimientos técnicos necesarios para el control automático y monitorización en tiempo real del sistema de captación de agua de la central hidroeléctrica Río Verde Chico.

- Elaboración de la lista de requerimientos técnicos necesarios para el control automático y monitorización del sistema de captación de agua de la central hidroeléctrica Río Verde Chico.
- Análisis de la factibilidad de implementación de cada requerimiento técnico para el control automático y monitorización del sistema de captación de agua de la central hidroeléctrica Río Verde Chico.

Diseñar el estudio para el monitoreo de la cuenca hidrológica del Río Verde Chico y un prototipo de control automático y monitorización para el sistema de captación de agua de la central hidroeléctrica Río Verde Chico.

- Búsqueda de puntos críticos o afluentes importantes en la cuenca hidrológica del río Verde Chico.
- Delimitación de superficie para el monitoreo de la cuenca hidrológica del río Verde Chico.
- Búsqueda de tecnologías y equipos adecuados a las características climáticas de la cuenca hidrológica del río Verde Chico.
- Elaboración de un cuadro comparativo de tecnologías vigentes para el monitoreo y control de procesos dentro del sistema de captación de agua de la central hidroeléctrica Río Verde Chico.
- Selección de la tecnología y equipos adecuados para el monitoreo y control del sistema de captación de agua de la central hidroeléctrica Río Verde Chico.
- Diseño del sistema electrónico para el monitoreo y control del de la captación de agua de la central hidroeléctrica Río Verde Chico.
- Elaboración de un sistema SCADA de monitoreo de variables en tiempo real.
- Implementación del prototipo de monitoreo y control para el sistema de captación de agua de la Central Hidroeléctrica Río Verde Chico.

CAPÍTULO II

METODOLOGÍA

2.1. Materiales

Para el diseño e implementación del prototipo del presente proyecto de investigación, se requiere de materiales como: memoria hidráulica del proyecto Río Verde Chico, memoria técnica del sistema de captación de agua del proyecto Río Verde Chico, Datos históricos de producción en época de invierno de la central hidroeléctrica Río Verde Chico, Artículos de revista, Libros, Tesis y demás documentos relacionados con el tema. A demás de contar con acceso a las instalaciones de captación de la central hidroeléctrica y acceso a información confidencial referente al estudio para la realización de la central hidroeléctrica.

2.2. Justificación

El sistema mediante el cual las centrales hidroeléctricas captan el agua del río difiere dependiendo la geografía del lugar. En el caso de la central hidroeléctrica Río Verde Chico, el sistema consiste en un embalse categorizado como: “de paso”, y un sistema de rejillas que desprenden los desechos orgánicos flotantes, compuertas que controlan la cantidad de flujo entrante o saliente y tanques que desprenden del agua sedimentación, sea pétreo o arenosa.

El río Verde Chico nace de la cordillera de los Llanganates con el nombre de río Muyo, y su cuenca está formada por pequeños afluentes [39] que en época de lluvias provocan derrumbes, aluviones y deslizamiento de tierras; estos sucesos afectan directamente al cauce del río induciendo crecidas repentinas con cantidades muy altas de sedimentos pétreos, arena, troncos de árboles y demás desechos vegetales.

Los problemas más comunes de la central hidroeléctrica Río Verde Chico son que al no poseer un sistema de monitoreo de las quebradas y afluentes más importantes en el cauce del río, no se puede actuar de manera oportuna ante eventos de crecida del caudal del río o altas sedimentaciones acarreadas por la fuerza del agua hacia el sistema de captación, y por lo tanto al llenarse el embalse de desechos, por la turbidez del agua, los sedimentos son acarreados a los tanques provocando obstrucción de rejillas. Para precautelar la integridad de los equipos se tiene que parar la producción de la planta energética; estos sucesos causan pérdidas económicas que son reflejadas en indicadores como: alto factor de indisponibilidad de la planta que muestra la cantidad de horas con la central fuera de servicio y un factor bajo de confiabilidad de la planta que muestra la potencia real producida con respecto a la potencia ideal calculada.

Mediante el sistema de monitoreo de las quebradas más importantes afluentes del río Verde Chico, la central hidroeléctrica tendrá una visión global de los sucesos en los puntos más críticos del río, tales como: aluviones, deslizamientos, derrumbes, por lo tanto, pueden actuar de manera oportuna para salvaguardar sus equipos y obra civil, y mediante el control automático de las compuertas de purga, es posible evacuar los sedimentos oportunamente sin poner en riesgo los generadores de energía.

La implementación del control automático y monitorización del sistema de captación de agua en la central hidráulica Río Verde Chico, mejora la respuesta del personal que labora en la Central Hidroeléctrica ante eventos críticos, como: incremento de nivel de agua, alta turbidez del agua, crecidas del caudal del río, derrumbes, aluviones, deslizamientos de tierra en el cauce del río. Mediante el monitoreo continuo de los parámetros más importantes dentro del sistema de captación como son: nivel de agua en cada etapa de captación, turbidez de agua, flujo de agua, se controla la apertura o cierre de las compuertas encargadas del ingreso o salida del flujo: adicionalmente, se da una visión panorámica de los sucesos que ocurren en la cuenca hidrológica del río Verde Chico, para tomar acciones adecuadas y oportunas que permiten el correcto funcionamiento del sistema de captación de agua y de la planta de generación eléctrica.

2.3. Delimitación

Delimitación de contenidos

Línea de Investigación: Sistemas de control

Delimitación espacial

El presente proyecto de investigación se realizó en la ciudad de Baños, sector Río Verde Chico aplicado para la central hidroeléctrica Río Verde Chico, y en la Universidad Técnica de Ambato, en la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial, previo a la obtención del Título de Tercer Nivel de Ingeniería en Electrónica y Comunicaciones.

Delimitación temporal

La investigación se realizó desde Marzo 2019 hasta Octubre 2020, de acuerdo con el reglamento de graduación vigente para la obtención del título de tercer nivel de Ingeniería Electrónica y Comunicaciones de la Universidad Técnica de Ambato.

2.4. Propuesta de solución

La implementación del prototipo de control automático y monitorización del sistema de captación de agua en la central hidráulica Río Verde Chico, mejora la respuesta del personal que labora en la Central Hidroeléctrica ante eventos críticos. Mediante el monitoreo continuo de los parámetros más importantes dentro del sistema de captación y una visión panorámica de los sucesos que ocurren en la cuenca hidrológica del río Verde Chico, pueden tomar acciones adecuadas y oportunas que permitan el correcto funcionamiento de la planta de generación eléctrica.

Modalidad de la investigación

Para el desarrollo del presente proyecto se utilizó la investigación aplicada, se averiguó las condiciones actuales de operación del sistema de captación de agua de la Central Hidroeléctrica Río Verde Chico y se determinaron los requerimientos técnicos que permiten mejorar el rendimiento de la planta. Se resolvió el problema planteado aplicando conocimientos ya existentes y proponiendo el prototipo para el control automático y monitorización del sistema de captación de agua para la central hidroeléctrica.

De igual manera, se realizó una investigación bibliográfica que permitió recopilar información pertinente para la elaboración del monitoreo y control del sistema de captación de agua de la Central Hidroeléctrica Río Verde Chico, para esto se buscaron archivos como: artículos de revistas, publicaciones y proyectos de investigación de repositorios de diferentes Universidades, principalmente de la Universidad Técnica de Ambato. Con la información pertinente se sustentó el trabajo basándose en experiencias ya elaboradas.

Además, este proyecto requirió de una investigación de campo, ya que se determinaron las condiciones actuales de funcionamiento del sistema de captación de agua de la Central Hidroeléctrica Río Verde Chico, y se evaluó la tecnología en uso mientras la planta se encontraba en funcionamiento normal.

Recolección de la información

La recopilación de la información se realizó mediante la investigación bibliográfica, en publicaciones de revistas referentes a sistemas de monitoreo y control, en repositorios universitarios de otros proyectos investigativos relacionados con el monitoreo y control de sistemas de captación de agua, y artículos científicos sobre la tecnología más común utilizada para el monitoreo y control de sistemas de captación de agua.

Procesamiento y análisis de datos

La metodología para el procesamiento y análisis de los datos recopilados siguió el siguiente algoritmo:

- Organización de la información recopilada de fuentes bibliográficas.
- Determinar la información relevante para el proyecto y descartar la información que no tenga un impacto positivo al trabajo en estudio.
- Encontrar estrategias que solucionen la problemática del presente trabajo.
- Presentación de una propuesta de solución.

Desarrollo del proyecto

Se presenta la lista de actividades mediante las cuales se desarrolló el proyecto:

- Investigación de todos sub sistemas estén involucrados en el sistema de captación de agua de la central hidroeléctrica Río Verde Chico, para conocer la situación actual de operación.
- Evaluación del estado actual del sistema de captación de agua de la central hidroeléctrica Río Verde Chico, respecto a su rendimiento.
- Elaboración de la lista de requerimientos técnicos necesarios para el control automático y monitorización del sistema de captación de agua de la central hidroeléctrica Río Verde Chico.
- Análisis de la factibilidad de implementación de cada requerimiento técnico para el control automático y monitorización del sistema de captación de agua de la central hidroeléctrica Río Verde Chico.
- Búsqueda de puntos críticos o afluentes importantes en la cuenca hidrológica del río Verde Chico.
- Delimitación de superficie para el monitoreo de la cuenca hidrológica del río Verde Chico.

- Búsqueda de tecnologías y equipos adecuados a las características climáticas de la cuenca hidrológica del río Verde Chico.
- Elaboración de un cuadro comparativo de tecnologías vigentes para el monitoreo y control de procesos dentro del sistema de captación de agua de la central hidroeléctrica Río Verde Chico.
- Selección de la tecnología y equipos adecuados para el monitoreo y control del sistema de captación de agua de la central hidroeléctrica Río Verde Chico.
- Diseño del sistema electrónico para el monitoreo y control del de la captación de agua de la central hidroeléctrica Río Verde Chico.
- Elaboración de un sistema SCADA de monitoreo de variables en tiempo real.
- Implementación del prototipo de monitoreo y control para el sistema de captación de agua de la Central Hidroeléctrica Río Verde Chico.

CAPITULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Introducción.

El agua es de suma importancia para la vida misma, y es indispensable que este recurso tenga las condiciones de salubridad adecuadas, estas condiciones suelen cambiar por efectos de contaminación que aporta con una cantidad de sedimentos sean orgánicos o químicos que alteran las características naturales de este líquido vital (incolora, insabora, inolora), dándole cierta turbidez. El agua tiene diversos usos industriales, uno de ellos es la producción de electricidad que se ha convertido en la necesidad básica para el uso cotidiano de la humanidad.

De acuerdo con datos oficiales de la Agencia de Regulación y Control de Electricidad ARCONEL, tomados del Balance Nacional de Energía de enero del 2019, la producción energética correspondiente a centrales hídricas en el Ecuador es 62.58%, con una potencia efectiva de 5043.19MW. Esta información indica que las centrales hidráulicas encabezan el listado de energías renovables y es la principal fuente que provee electricidad al país. En segundo lugar, se tiene a las centrales térmicas, con el 20.08% de producción energética total, esto corresponde a 1618.01MW de potencia efectiva. [4]

En enero del 2018 el ARCONEL elaboró un bosquejo en el que constan el número de centrales de generación hidráulica ubicadas en el territorio ecuatoriano, en total son 44 con generación menor a 20 MW, y 19 con una generación entre 20 MW y 1500 MW. [4]

Estos datos indican la importancia de este recurso para la generación eléctrica, es decir, en las centrales de generación hidráulica dependen directamente del caudal de agua del río que las abastece.

La central hidroeléctrica Río Verde Chico usa el recurso hídrico del río que lleva su mismo nombre, el cual proviene de la cuenta de los Llanganates y forma parte del curso superior del sistema fluvial Pastaza – Marañón – Amazonas que drena hacia el Océano Atlántico. [40], debido a las altas precipitaciones de la zona, este río se ve afectado en la mayoría del tiempo por aluviones, derrumbamientos de tierra en su rivera, crecidas repentinas o estiaje.

Por ese motivo se propone la implementación de un sistema de monitoreo de la cuenca hidrológica en puntos críticos de afluentes del río y a más de eso un sistema de control de las compuertas de purga del sistema de captación, para que mediante la medición de parámetros importantes como: turbidez y nivel de agua, se puedan accionar estas compuertas con el objetivo de evacuar sedimentos del sistema y evitar daños o desgaste en las turbinas. El sistema brindará un HMI dónde el operador de compuertas podrá monitorizar el sistema de purga y registrar las variables medidas. Y el sistema de monitoreo de la cuenca hidrológica, ayudará al operador en la toma de decisiones ante cualquier evento crítico para salvaguardar los equipos y maquinaria de la central.

3.2. Estudio de factibilidad

Todos los requerimientos técnicos considerados para el correcto funcionamiento del sistema de captación de agua de la central Hidroeléctrica Río Verde Chico y los requerimientos para el monitoreo de la cuenca hidrológica del río que provee a la central, son factibles y necesarios. Existen tres tipos de factibilidad detalladas a continuación:

3.2.1. Factibilidad técnica

En el aspecto técnico, existen los materiales para llevar a cabo la implementación del sistema de control y monitoreo planteado en este proyecto, a más de eso existe factibilidad de diseño de todo el sistema mediante el uso de software amigable con el usuario.

3.2.2. Factibilidad económica

Para este proyecto, la factibilidad económica es posible, debido a que el investigador solventará los gastos del prototipo que demostrará el principio técnico de funcionamiento del sistema de monitoreo y control planteado.

3.2.3. Factibilidad bibliográfica

En este aspecto, el proyecto es factible, debido a que existe la información necesaria a disposición del investigador. Esta información se encuentra en libros, repositorios de tesis, publicaciones de artículos científicos y proyectos de investigación.

3.3. Situación actual de operación de la central hidroeléctrica Río Verde Chico.

3.3.1. Proyecto hidroeléctrico Río Verde Chico

El proyecto se encuentra localizado en el cantón Baños, provincia del Tungurahua, en una subcuenca de 30 Km del río Pastaza, y de 222 Km² de área aportante, que se inicia en las estribaciones de los Llanganatis y descarga como río Muyo, frente a la población de Ulba, en la cola del reservorio de la Central Hidroeléctrica Agoyán. Con un caudal de diseño de 5.2 m³/seg. Y una potencia instalada de 10 MW. [41]

En la Fig. 11 se aprecia en vista satelital el sitio destinado a este proyecto hidroeléctrico, la captación se encuentra ubicada en las coordenadas N9848400, E788840. Mientras que la casa de máquinas y la restitución de las aguas turbinadas al cauce del Muyo en las coordenadas N9846206.00, E790220.63

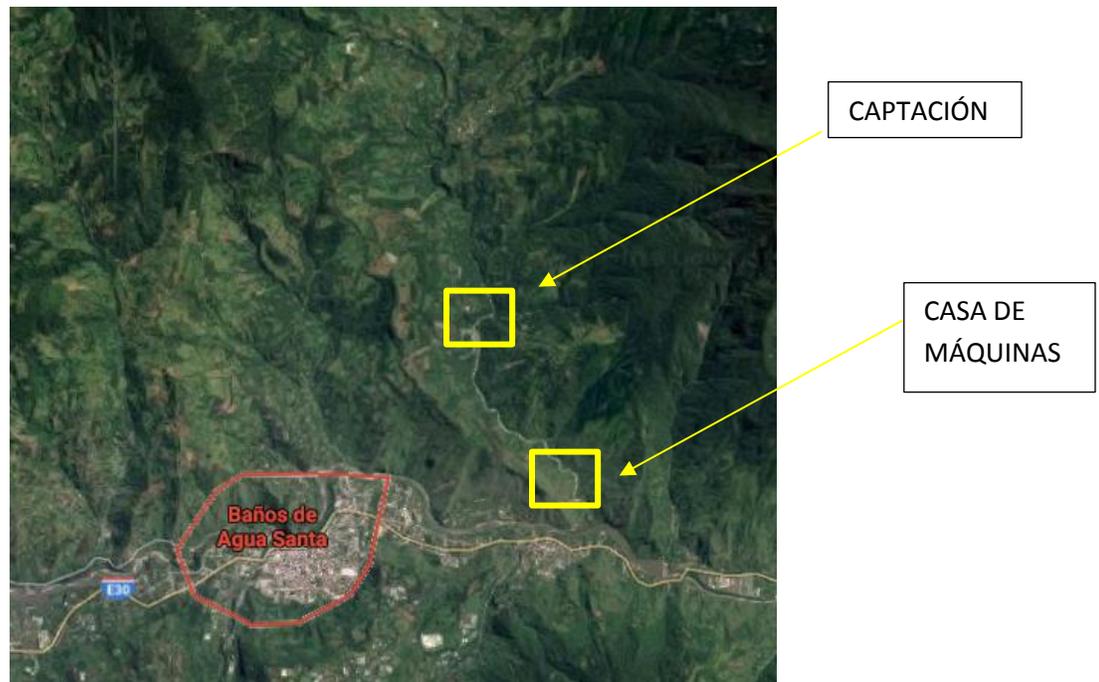


Figura 11. Ubicación del proyecto hidrológico Rio Verde Chico

Elaborado por: El Investigador

3.3.2. Descripción de la zona.

El Río Verde Chico o Muyo tiene su nacimiento en alturas que están alrededor de los 4200 msnm, fluye por la vertiente oriental de la Cordillera Central de los Andes y forma parte del curso superior del sistema fluvial Pastaza – Marañón – Amazonas que drena hacia el Océano Atlántico. Es una zona con relieve muy irregular y altitudes que van desde los 4200 msnm en la divisoria norte de la cuenca en la Cordillera de los Llanganates hasta los 1695 msnm en la estación hidrométrica Muyo AJ Pastaza. Según el Atlas Geográfico de la República del Ecuador, IGM, 1982, la zona donde se encuentra el Proyecto, ha sido clasificada según Köppen como ‘Tropical, mesotérmico, húmedo’ y se registran precipitaciones medias anuales entre 1400 a 2000 mm. [40]

El clima de la zona de captación, según la clasificación climática propuesta por Pourrut (1994), como tropical- mesotérmico- húmedo, caracterizado por la presencia de un único período húmedo entre marzo y septiembre, con su máximos valor en junio; y el periodo

seco entre octubre y febrero, con temperaturas medias anuales entre 15 y 20 °C, humedad relativa media del 85 % y una lluvia anual media entre 1400 y 2000 mm/año. En la Figura 12 se muestra la relación entre la altitud y las precipitaciones existentes en la cuenca del río Verde Chico [42].

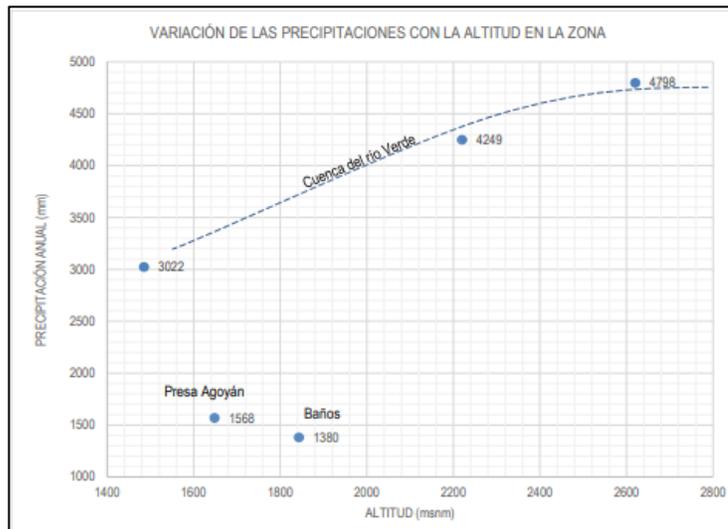


Figura 12. Variación de las precipitaciones con la altitud de la cuenca del río Verde Chico. [42]

Los caudales históricos mensuales se presentan en la Tabla 6.

Tabla 6. Caudales medios mensuales en la estación Muyo AJ Pastaza (1966-1998). [42]

Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
5.49	5.58	6.13	8.15	9.62	12.95	14	11.68	9.53	6.51	5.59	5.42

3.3.3. Caudales de diseño

Como base fundamental para el diseño de las diferentes obras hidráulicas, inherentes al proyecto, es el conocer los caudales característicos del mismo [41], Zurita plantea característica que la resume a partir del estudio hidrológico, tales como:

- Caudal medio del río, y cuyo valor es según el Estudio Hidrológico, de 8,4 m³ /s.

- Caudal de diseño de las obras hidráulicas, con un valor de 5,20 m³ /s, menor al medio.
- Caudal firme de 4,3 m³ /s, que en la curva de duración tiene una permanencia del 90 % de tiempo.
- Caudal equivalente para fines de evaluación energética recomendado de 4,80 m³ /s, con el que se obtiene una generación media de 84 GW-h por año.

3.3.4. Esquema general del proyecto hidroeléctrico Río Verde Chico

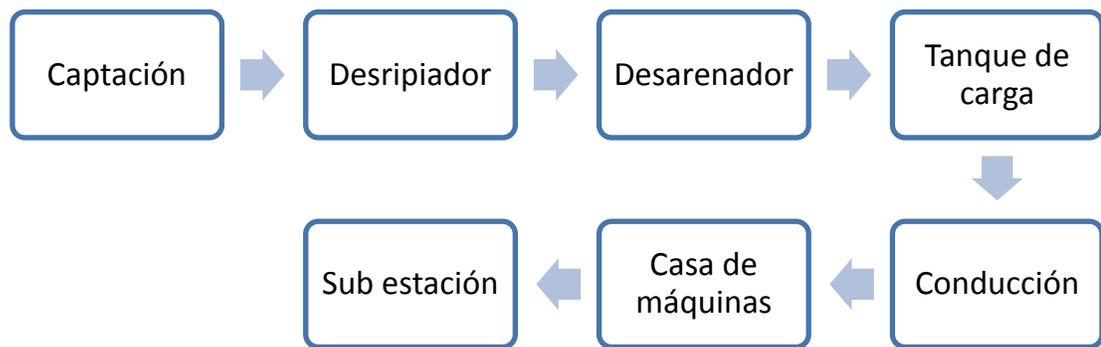


Figura 13. Esquema general del proyecto hidroeléctrico Río Verde Chico.

Elaborado por: El Investigador.

3.3.5. Sistema de captación de agua

La central hidroeléctrica Río Verde Chico, posee una infraestructura dedicada a captar un flujo exacto de agua para transportarla hacia las turbinas de generación eléctrica. Las instalaciones se muestran en la Figura 14.

La obra de captación posee un cierre en el río Verde Chico por medio de un azud de hormigón, de 7.70 m de altura y 22.00 m de longitud más dos compuertas radiales de fondo de 2 m de base x 2.40 m de altura. la estructura del azud tiene un perfil tipo creager, que garantizan la evacuación del 100 % la creciente de un período de retorno de 200 años (330

m³/s), el vertedero se acopla a un colchón de amortiguamiento que permitirá disipar la energía del agua y volver al curso natural del río. Se captan 5.2 m³/s mediante una rejilla lateral que conduce el agua captada hacia un desarenador que tiene una longitud de 32m, a continuación del desarenador se encuentra el tanque de carga y la cámara de presurización que da inicio a la conducción. [40]

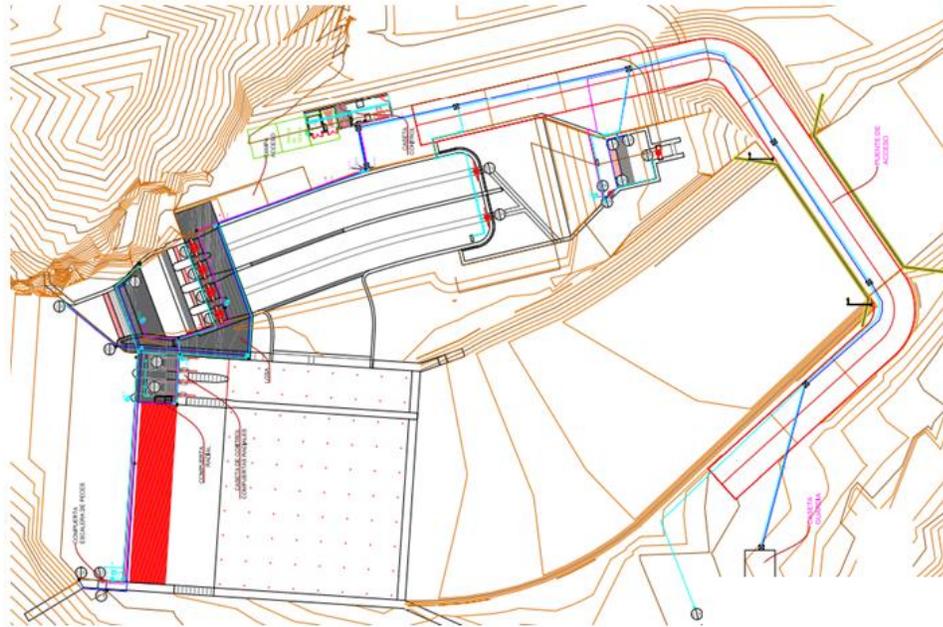


Figura 14. Plano descriptivo de las instalaciones de captación de agua de la central hidroeléctrica Río Verde Chico. [41]

La obra de captación está conformada por los siguientes elementos:

Embalse.

El embalse construido en la central es un área artificial catalogada como “de paso”, es decir que el agua que almacena es utilizada inmediatamente por las turbinas de generación hidroeléctrica y el excedente continúa su cauce natural. El espacio volumétrico del embalse de la central es de 13552m³, de los cuales 5.2m³/s son utilizados por las turbinas de

generación hidroeléctrica. Si el agua supera el nivel de 7.7m desde la base el embalse, ésta es evacuada por el vertedero del azud hacia el cauce natural del río.

Para observar el valor de nivel de agua almacenada en el embalse la empresa posee un sensor de nivel (ver Figura 15) ubicado en la loza superior, este sensor es ultrasónico de marca Siemens está conectado a un controlador/ indicador (ver Figura 16) ubicado estratégicamente para que el operador de compuertas visualice los valores, y mediante comunicación serial 485, estos datos son almacenados en un PLC y presentados en una interfaz humano máquina (HMI).



Figura 15. Sensor de medición de nivel de agua del embalse

Elaborado por: El Investigador



Figura 16. Controlador indicador para sensor de nivel

Elaborado por: El Investigador

Azud o umbral de derivación, transversal a la dirección principal del flujo. Figura 17

El azud de cierre consiste en un dique de 7.70 m de altura y 22.0 m de longitud, los muros aguas arriba tienen una altura promedio de 11,80 m sobre el nivel del cauce, y los de aguas abajo de 8.0 m sobre el nivel del zampeado, para disipar la energía de los caudales de crecida, aguas abajo del azud, se dispone el cuenco amortiguador del mismo ancho que el azud y de 22.40 m de longitud, está compuesto de una losa de hormigón para contrarrestar los efectos de la subpresión.



Figura 17. Vista frontal de azud en sistema de captación de agua de la central Río Verde Chico

Elaborado por: El Investigador

Desagües de fondo o compuertas radiales.

Estas compuertas permiten evacuar el flujo de agua y arrastrar sedimentos hacia aguas abajo, donde está el enrocado de protección de la obra de toma. Como se muestra en la Figura 18. La evacuación de los materiales de arrastre de fondo, en especial durante las crecientes y la limpieza de material en suspensión decantado en forma permanente.



Figura 18. Desagües de fondo de agua.

Elaborado por: El Investigador

Estas compuertas tienen una simetría radial que les permite soportar grandes presiones sin sufrir deformación alguna, la apertura y cierre son controlados por un PLC Siemens S7 1200 que comanda a una unidad hidráulica y ésta a pistones hidráulicos mostrados en la Figura 19. Posee un HMI local dedicado.



Figura 19. Vista superior de compuerta radial 2

Elaborado por: El Investigador

Escalera de peces.

La escalera de peces consiste en un canal con rugosidad artificial que comunica el nivel del agua embalsada aguas arriba del cierre transversal del río Verde Chico, con el río aguas abajo, donde se tienen ya condiciones naturales del flujo. La forma de la escalera permite atravesar el cierre artificial, a los peces que migran en el río, tiene una función de carácter eminentemente ecológico. [41] Ver Figura 20.



Figura 20. Escalera de peces.

Elaborado por: El Investigador

Esta estructura cuenta con una compuerta denominada compuerta de escalera de peces (ver Figura 21) que siempre debe permanecer abierta, la apertura y cierre de esta compuerta es comandada por el mismo PLC que controla las compuertas planas de ingreso a las cámaras desarenadoras. Las características técnicas del motor están descritas en la Tabla 7.



Figura 21. Toma lateral de estructura de apertura para la compuerta de la escalera de peces.

Elaborado por: El Investigador

Rejilla principal de entrada.

Esta rejilla permite el ingreso de agua a las instalaciones de captación evitando el ingreso de material sólido. Mostrada en la Figura 22. El orificio de entrada está provisto de barrotes con una inclinación de 90° respecto a la horizontal, que impide la entrada de material flotante y de piedras con diámetros mayores al espacio entre los mismos de 0.10m. Esto se muestra en la Figura 23. [41]



Figura 22. Rejilla de entrada principal.

Elaborado por: El Investigador



Figura 23. Vista de rejilla principal de entrada desde la loza del sistema de captación de agua.

Elaborado por: El Investigador

La basura vegetal atrapada en esta sección es limpiada mediante un sistema semi automático, consta de dos rejillas removibles: una comandada por un tecele automático y otra por un tecele manual mostrado en la Figura 24. De acuerdo con declaraciones oficiales del personal de operación de compuertas, ellos realizan limpiezas continuas cada 2 horas en épocas de invierno y cada 4 horas en épocas de verano.



Figura 24. Tecles cubiertos utilizados para remoción de rejillas de limpieza.

Elaborado por: El Investigador.

Desripiador

Después de la rejilla de captación está el desripiador, que corresponde a un tanque que decanta material sólido con diámetros menores o iguales a 50mm, y esos son evacuador al cauce natural del río mediante una compuerta de purga [41], ver Figura 25. En la figura 26 se muestra esta cámara llena de sedimentos pétreos y arenosos.



Figura 25. Cámara deslupadora en funcionamiento normal en el sistema de captación de agua de la central hidroeléctrica Río Verde Chico.

Elaborado por: El Investigador.

Otra parte fundamental de esta sección del sistema de captación es la compuerta de purga del deslupador de dimensiones 0.80m de ancho por 0.80m de altura y es mostrada en la figura 27. Esta compuerta es manual, y se la abre y cierra mediante un volante que con el giro continuo sube o baja un vástago de tornillo sin fin. Esta compuerta es encargada de evacuar los sedimentos que por el filtrado quedan atrapados dentro de esta cámara.

Después se encuentra otra etapa de filtrado final con cuatro rejillas que restringen el ingreso de basura vegetal y sedimentos hacia las cámaras desarenadoras.



Figura 27. Volante de apertura y cierre de compuerta manual de purga del Desripiador
Elaborado por: El Investigador



Figura 26. Desripiador lleno de sedimentos pétreos antes de su limpieza
Elaborado por: El Investigador.

Desarenadores.

Las obras de desarenación están constituidas por dos cámaras de desarenación, previo al ingreso del flujo hacia el desarenador se encuentran cuatro rejillas finas y cuatro compuertas de 1,90 x 1,60 m (dos compuertas por cada cámara desarenadora) ver Figura 28. La estructura debe garantizar la clarificación del agua requerida para el proyecto, y la evacuación oportuna de los sedimentos depositados en el fondo, bajo una mínima pérdida de agua. [40] Ver Figura 29.

Estas compuertas son motorizadas y tienen el control de apertura y cierre comandado por un PLC de marca Schneider Electric, poseen un SCADA local en una pantalla de la misma marca ubicada en la puerta del tablero de control, y un SCADA remoto incorporado en una página web de uso interno de la central.



Figura 28. Estructura para la apertura y cierre de compuertas de entrada a las cámaras desarenadoras.

Elaborado por: El Investigador

De conformidad con la normativa técnica, en el presente proyecto, se garantiza la retención y decantación de los sedimentos con tamaños mayores a 0.25 mm, tomando en cuenta que el sólido en suspensión tiene su origen en rocas metamórficas y volcánicas fundamentalmente. [40] Que de acuerdo con la memoria hidráulica de la construcción del proyecto el tamaño del material a ser retenido en el desarenador en función del tipo de turbina es de 0.2mm a 0.4mm para turbinas Pelton. [41]

La velocidad del agua que atraviesa estas cámaras está entre 0.20m/s a 0.60m/s, de acuerdo con el estudio realizado para su construcción. [41]

En el fondo de la cámara de decantación se dispone de una canaleta para la recolección de los sedimentos. Este canal tiene una pendiente que garantiza una velocidad del orden de los 3 m/s o más, para garantizar la evacuación de los sólidos. [40]



Figura 29. Cámaras desarenadoras en sistema de captación de agua de la central Río Verde Chico.

Elaborado por: El Investigador.

El desarenador cumple con los siguientes objetivos técnicos:

- Excluir el material sólido, que ocasionalmente es captado en la estructura de derivación de los caudales líquidos,
- Expulsar el material sólido retenido antes de que ingrese a la conducción principal; por lo tanto, está ubicado en un tramo lo más cercano posible al curso natural del río.
- Preservar el desgaste desmedido del equipo electromecánico, desgaste que se presentaría por la presencia del material sólido en el flujo del agua.
- Disminuir los costos de operación y de mantenimiento dado que se disminuyen las interrupciones del flujo para la limpieza de los diferentes componentes del sistema.

[40]

Para evacuar todos los sedimentos acumulados en las cámaras desarenadoras, existe una compuerta de purga para cada cámara con salida directa al cauce normal del río. Estas compuertas se denominan “purgas del desarenador” (ver Figura 32), y poseen un control local desde un tablero que comanda a dos motores con características técnicas detalladas en la Tabla 7, cada vástago de estas compuertas posee dos finales de carrera, uno refleja el estado *abierto* de la compuerta y otro el estado *cerrado*, la apertura y cierre la realizan el

personal de operación de captación en base a observaciones continuas de las cámaras desarenadoras e intuyendo que requieren limpieza.

En la Figura 31 se muestran las cámaras desarenadoras antes de ser lavadas durante la época de invierno. Mientras que en la Figura 30 son mostradas estas cámaras en funcionamiento normal.



Figura 31. Desarenadores en funcionamiento normal.



Figura 30. Cámara desarenadora antes de ser lavada.



Figura 32. Vista panorámica de ubicación de compuertas de purgas de cámaras desarenadoras.

Elaborado por: El Investigador

Todas las compuertas del sistema de desarenación son motorizadas, y los motores poseen las características técnicas descritas en la Tabla 7:

Tabla 7. Características técnicas de los motores utilizados en las compuertas de control de flujo de entrada y control de flujo de salida de las compuertas.

Característica	Valor
Nivel de protección IP	55
Voltaje de alimentación	220 – 440 V
Frecuencia de operación	60 Hz
Revoluciones	750 rpm
Corriente de operación	8.14 – 4.07 A
Potencia	2.2(3.0) KW(HP)
Corriente de corto circuito	9.36/4.68 A

Elaborado por: El Investigador.

Tanque de carga.

Los vertederos de los desarenadores entregan el caudal en un tanque de carga de sección variable, con un volumen útil de 480 m³, una longitud de 16,74 m y profundidades que varían entre los 4 y 8 m, ver Figura 33. A continuación del tanque de carga se encuentra la cámara de presurización, a la cual el caudal ingresa a través de una rejilla fina y aumenta en profundidad para garantizar la sugerencia y el correcto ingreso del caudal hacia la tubería de conducción; la cámara de presurización tiene una altura de 10,50 m y cuenta con una compuerta que permite el cierre hacia la tubería de conducción. [40]



Figura 33. Tanque de carga del sistema de captación de agua de la central hidroeléctrica Río Verde Chico.

Elaborado por: El Investigador

El tanque de carga cuenta con tres sensores de nivel piezoeléctricos sumergibles, dos de los cuales proporcionan datos directamente al HMI dedicado a la captación del proyecto marca Siemens (ver Figura 34) y otro que proporciona un dato directo al control de la planta del sistema cerrado de WKV de marca WKV ATC, esta señal viaja directamente por un enlace de fibra hacia casa de máquinas para su uso. Estos sensores poseen las siguientes características técnicas mostradas en la Tabla 8.

Tabla 8. Características técnicas de sensor piezoeléctrico de nivel de agua sumergible.

Característica	Descripción
Tipo de dispositivo	Transmisor
Tipo de montaje	Cable
Material del cuerpo	Acero inoxidable
Longitud del cable	10 m
Temperatura de funcionamiento mínima	-10°C
Temperatura de funcionamiento máxima	+80°C
Corriente máxima	20mA
Salida eléctrica	4 a 20mA
Nivel de protección IP	68
Error de medida	0.3%

Elaborado por: El Investigador.



Figura 34. Sensor de nivel de agua piezoeléctrico sumergible. [43]

Estos sensores de nivel de agua son permisivos indispensables para el funcionamiento de la planta de generación, si no existe una lectura de los sensores, los generadores de energía no arrancan.

La Tabla 9 muestra un resumen de los valores de nivel de agua configurado y registrado en la central hidroeléctrica Río Verde Chico.

Tabla 9. Tabla de resumen de valores medidos de nivel del tanque de carga.

Valor medido	Acción	Descripción
6.9 m	Señal de disparo	Valor mínimo general
7.4 m	Señal de disparo	Valor mínimo con potencia fija
8.75 m	Punto de ajuste	Valor de ajuste de potencia
9.4 m	Funcionamiento normal	Valor máximo registrado

Elaborado por: El Investigador

En el tanque de carga también están ubicadas dos compuertas, una es de purga, encargada de evacuar sedimentos sumergidos en el fondo de la estructura hacia el cauce natural del río, mostrada en la Figura 36 y otra es la compuerta de ingreso de agua a la tubería de conducción. Estas dos compuertas están controladas por un tablero local con un PLC de marca Schneider Electric Modicon M221. Ambas compuertas poseen un control on – off, y cada una cuenta con un motor de características mostradas en la Tabla 7. El motor

controla el movimiento de un vástago que abre las compuertas y en base a indicaciones hidráulicas, la apertura de la compuerta hacia la tubería de conducción debe ser al 100% para evitar daños por golpe de ariete.

El monitoreo de la compuerta de ingreso de agua hacia la tubería de conducción es otro parámetro crítico dentro de la planta de generación. Para monitorear si la compuerta está abierta o cerrada, la planta posee un sensor encoder de marca Hohner mostrado en la Figura 35, sus características técnicas se describen en la tabla 10.

Tabla 10. Características de sensor encoder Hohner.

Conexión	Color de cable
Conexión a tierra GND	Amarillo.
Voltaje de entrada	Blanco
Voltaje de salida	Marron
Parámetros eléctricos	
Señal de salida	4 a 20 mA
Voltaje de alimentación	15..30 V

Elaborado por: El Investigador.



Figura 35. Encorder ubicado en estructura de compuerta de ingreso de agua hacia la tubería de conducción.

Elaborado por: El Investigador.



Figura 36. Estructura de apertura y cierre de compuerta de purga del tanque de carga.

Elaborado por: El Investigador.

En el tanque de carga se encuentra la última etapa de filtrado, una rejilla fina que impide que los sólidos que no fueron decantados en los procesos anteriores viajen hacia los generadores de energía, debido a que el choque a gran velocidad produce un desgaste en los álabes de la turbina.

Tubería de conducción.

El diseño hidráulico adopta un caudal constante en toda su longitud, igual al caudal de diseño. El flujo será conducido a baja presión dentro del túnel de 2753 m de longitud, y a alta presión a la salida del túnel hasta la casa de máquinas con una longitud total de 303m. [40]. La Figura 37 muestra la implantación general del proyecto.

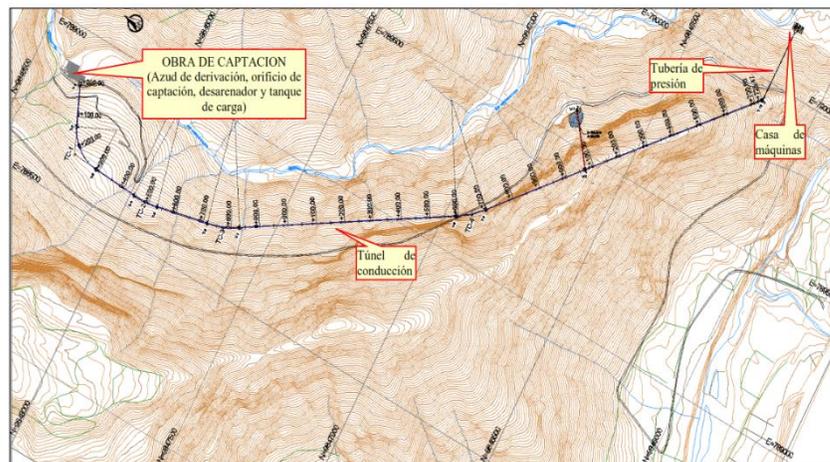


Figura 37. Implantación general del proyecto. [41]

La tubería de presión cumple con los siguientes objetivos:

- Conducir el agua a presión con velocidades que minimicen las pérdidas por fricción interna del flujo, alcanzando una producción energética óptima para el caudal de diseño o caudal máximo turbinable.
- Resistir las presiones hidrostáticas e hidrodinámicas interiores que se presentaren en el sistema, durante la operación con flujo permanente y con flujo no permanente.
- Resistir la presión exterior del medio, cuando ocurra un vaciado violento de la tubería. [40]

3.3.6. Sistema de casa de máquinas

El área de la casa de máquinas es de 27 m de largo por 20 m de ancho y tiene una altura de 10 m hasta el apoyo de los rieles del puente grúa, y 11 m de altura de las columnas y muros circundantes. Para la restitución se cuenta un canal de aproximadamente 40 m de longitud que conduce el caudal turbinado desde la central hasta el río, mediante una tubería tipo alcantarilla, de acero, de 2,00 m de diámetro y con una gradiente del 2%. [40]

Existen dos generadores de 5MW de potencia cada uno, estos se conectan a una barra de voltaje de 6.9kV, luego de una etapa de elevación a 69kV se conectan mediante dos bahías al Sistema Nacional Interconectado. La primera bahía de evacuación de energía corresponde a la que va hacia la sub estación Agoyán, mientras que la segunda bahía despacha la energía hacia la subestación Baños. Ver diagrama unifilar en figura 38.

Se adjuntan los parámetros técnicos de los generadores de energía marca WKV implementados en la central hidroeléctrica Río Verde Chico en la Tabla 11. Los generadores se aprecian en la Figura 39.

Tabla 11. Características técnico/Generales de los generadores de energía de la central hidroeléctrica Río Verde Chico

Parámetro eléctrico	Valor
Potencia mínima por unidad (MW)	0.45
Potencia efectiva por unidad (MW)	5.1
Máxima generación de potencia reactiva (MVAR)	2.18
Máxima absorción de potencia reactiva (MVAR)	-1.29
Voltaje nominal (kV)	6.9
Velocidad de giro por unidad (rpm)	514
Consumo de servicios auxiliares	7kV
Número de arranques en un día	20

Elaborado por: El Investigador, basado en: [45]



Figura 39. Vista superior de unidades de generación marca WKV en la central hidroeléctrica Río Verde Chico.

Elaborado por: El Investigador.

3.4. Sistema de captación de agua de la central hidroeléctrica Río Verde Chico y rendimiento general de la planta.

Los meses de invierno (abril - septiembre), por los niveles de precipitaciones existentes, los niveles de turbidez de agua ascienden, a sí mismo, se producen aluviones, palizadas y grandes cantidades de hojas y basura vegetal. Por ese motivo se han presentado paradas de producción con la finalidad de realizar limpiezas de los tanques: desripiador, desarenadores y tanque de carga. Se puede visualizar en las siguientes fotografías.



Figura 40. Limpieza de tanque desripiador por personal civil.

Elaborado por: El Investigador.



Figura 41. Limpieza de tanques desarenadores.

Elaborado por: El Investigador.



Figura 42. Limpieza de tanque de carga por personal civil.

Elaborado por: El Investigador.

El sistema de captación de agua posee un HMI a disposición del operador, mediante el cual puede monitorizar el estado de las compuertas más importantes, así mismo, controlar la apertura y cierre de las mismas. En la siguiente figura se muestra la interfaz de esta herramienta, las compuertas de purga del sistema, no se encuentran incluidas en este HMI, debido a que solo poseen tableros locales para la apertura y el cierre y la compuerta de purga del tanque desripiador es manual.



Figura 43. HMI del sistema de captación de agua.

Elaborado por: El Investigador.

Dentro del botón COMPUERTAS, se tiene el control de apertura y cierre de las mismas, se muestra en la siguiente figura:

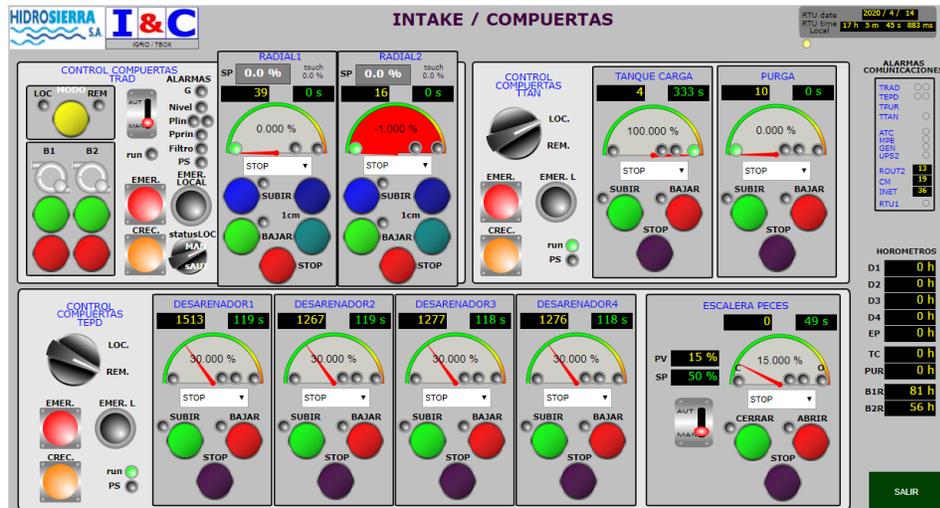


Figura 44. Sección COMPUERTAS del HMI de captación.

Elaborado por: El Investigador.

Dentro del botón AUXILIARES, se encuentra el unifilar de la transferencia de carga, el control de iluminación de la zona, el monitoreo del UPS y el monitoreo del generador de energía de respaldo para el sistema de captación de agua.

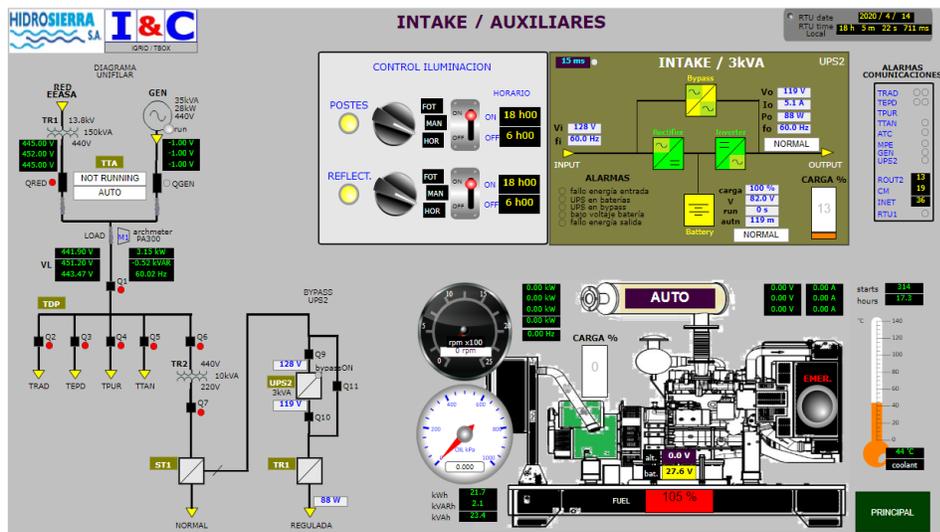


Figura 45. Sección AUXILIAR del HMI de captación.

Elaborado por: El Investigador.

Los operadores de turno, están encargados de llevar un registro del estado del clima del sector de captación de agua y un control de la cantidad de veces que se ha apagado la planta debido a limpiezas por sedimentos, aluviones o palizadas.

En el caso del mes de julio 2019, se tiene un registro completo del número de paradas de la planta y mediante un cuadro (detallado en el ANEXO 1), donde se ha determinado la siguiente información:

Tabla 12. Resumen de paradas del mes de julio 2019

Paradas por limpieza de sistema de tanques de captación y embalse	68.75%
Paradas por palizadas, aluviones con caudales inmanejables.	31.25 %
Total paradas	100%

Elaborado por: El Investigador en base a ANEXO 1. [46]

A continuación se muestra la curva de caudales promedio diarios registrados en el mes de julio 2019.

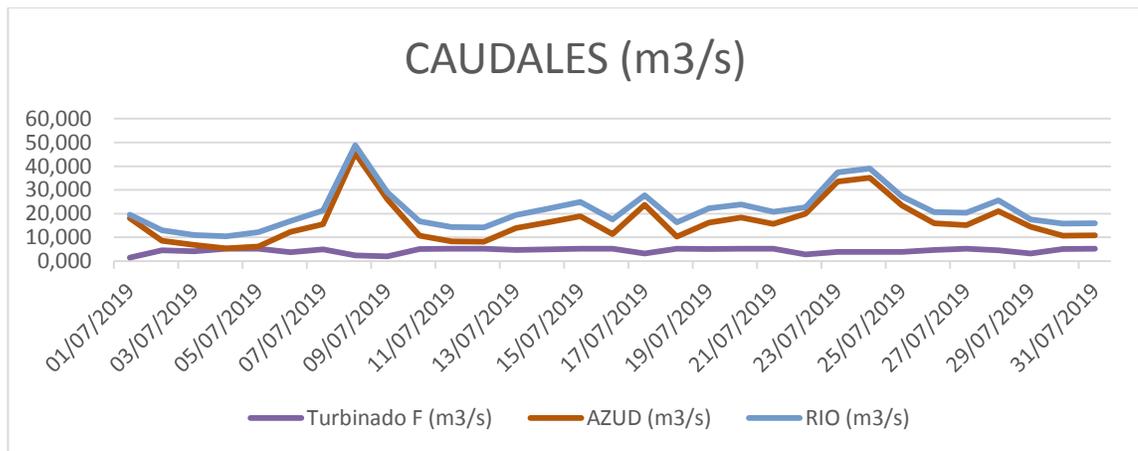


Figura 46. Curva de caudales registrados en julio 2019. [46]

Los parámetros que se determinan en la central en base a los valores de producción son los siguientes:

Eficiencia de la planta.

De acuerdo al informe mensual que elaboró la planta de generación en julio del 2019, la potencia producida en este mes con respecto al caudal turbinado se muestra en la Figura 47, los días de baja producción reflejan paradas de la planta que de acuerdo al mismo informe fueron causadas por palizadas, crecidas de río, alta cantidad de sedimentos en las instalaciones de captación, y limpieza de embalse por acumulación de material pétreo, sucesos mostrados en las Figuras 48.

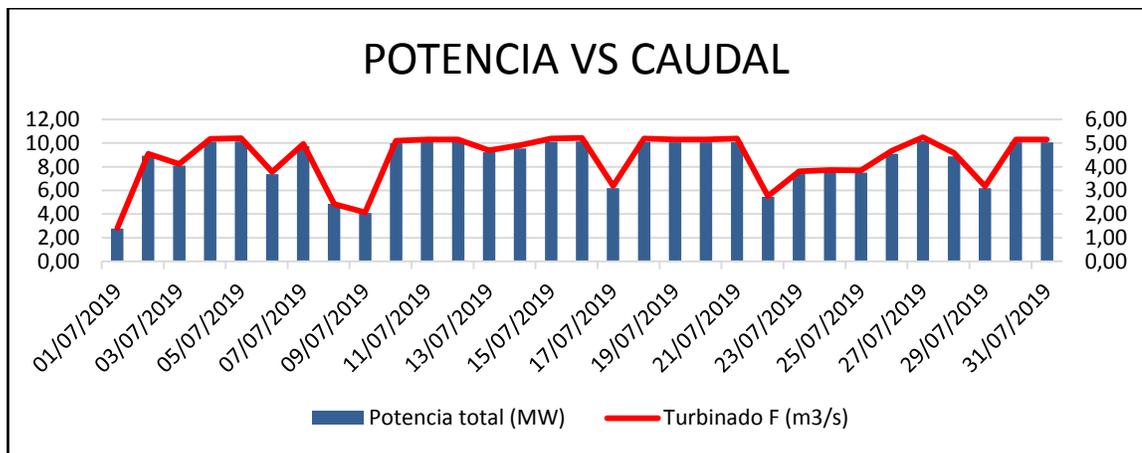


Figura 47. Producción de potencia vs caudal de julio del 2019. [46]



Figura 48. Limpieza de embalse y desalojo de rocas.

Elaborado por: El Investigador

Otro parámetro considerado importante para el análisis de producción son las horas de operación y parada de la planta de generación, en esta sección no discriminan si la causa de parada fue externa o interna, y se muestra en la Figura 49.

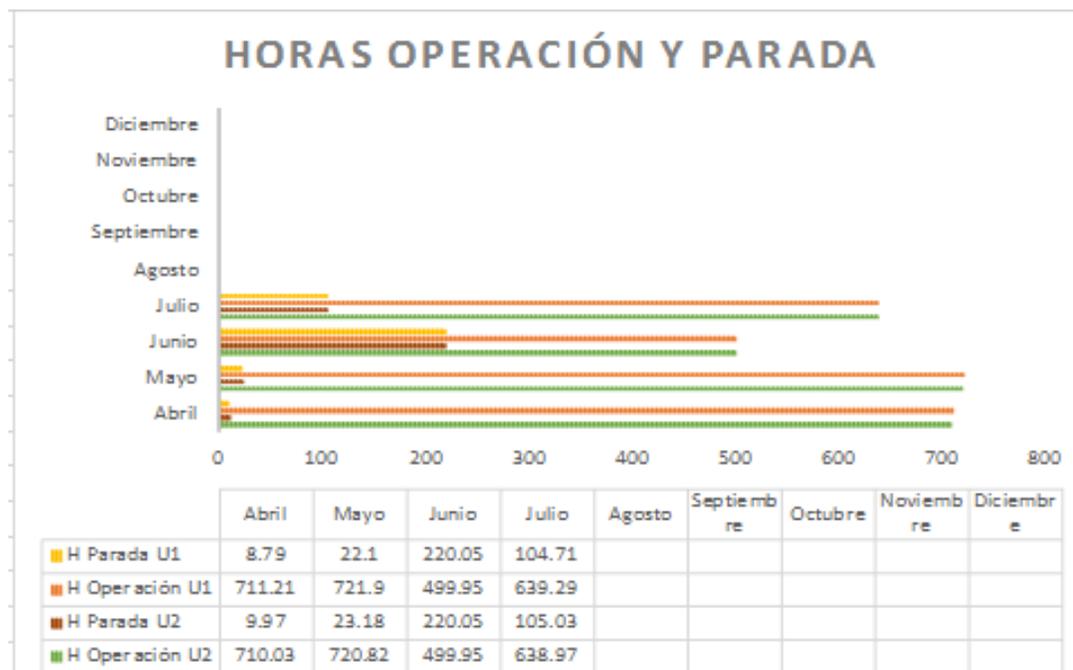


Figura 49. Horas de operación y parada de la planta desde abril de 2019 hasta julio de 2019. [46]

En junio del 2019 se tiene la mayor cantidad de horas de parada de la planta de generación, debido a una crecida de caudal del río considerada centenaria, con un caudal pico de 360 m³/s. En el mes de julio de acuerdo al mismo informe aún no se normalizan los parámetros del río y se inician labores de limpieza de sedimentos, es por ese motivo que también se ve reflejado en los datos de horas de parada de la planta. (Ver anexo 1).

El factor de planta de la central se muestra en la figura 50, siendo junio el mes con menor factor de planta registrado y mayo con el mayor valor de eficiencia. Este valor refleja la cantidad de energía que generó la planta con respecto a la energía de diseño de la maquinaria en un determinado período de tiempo.

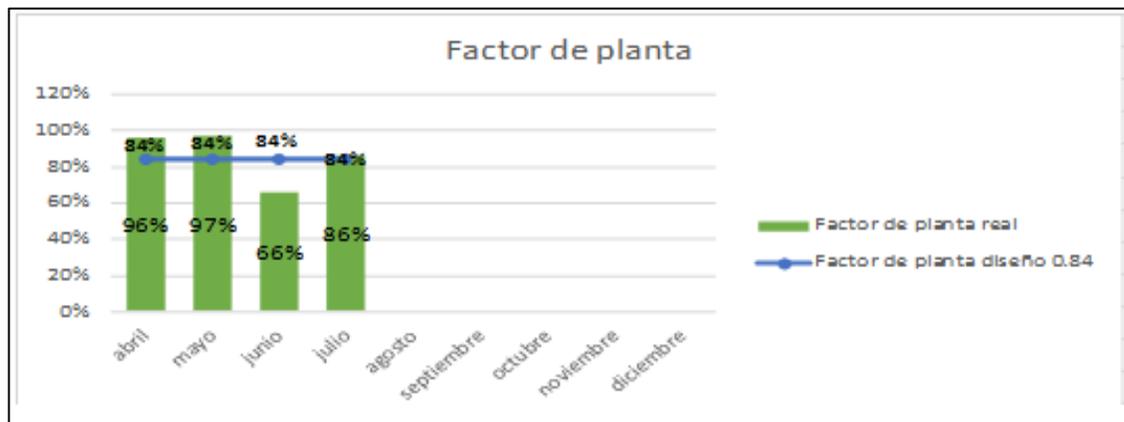


Figura 50. Factor de planta de los meses de abril a julio del 2019. [46]

3.5. Sistema de monitoreo de la cuenca hidrológica del Río Verde Chico.

3.5.1. Requerimientos técnicos del sistema de monitoreo de la cuenca hidrológica del Río Verde Chico.

Se adjunta una lista de requerimientos técnicos para el sistema de monitoreo de la cuenca hidrológica del Río Verde Chico.

- Radio enlace que comunique todas las zonas de monitoreo desde el punto de “Captación”.
- Monitoreo mediante cámaras para exterior del afluente del río Muyo denominado “Río Cristal”.
- Monitoreo mediante cámaras para exterior del afluente del río Muyo denominado “Río Valencia”.
- Monitoreo mediante cámaras para exterior del afluente del río Muyo denominada “Quebrada Montañita”.
- Monitoreo mediante cámaras para exterior del afluente del río Muyo denominada “Quebrada del Palacio”.
- Monitoreo mediante cámaras para exterior del río Muyo a la altura de Vizcaya.
- Sistema de cámaras inalámbrico, IP, para exteriores y de energía autónoma.



Figura 51. Gráfica descriptiva del sistema de monitoreo de la cuenca hidrológica del río Muyo

Elaborado por: El Investigador.

3.5.2. Búsqueda de puntos críticos o afluentes importantes en la cuenca hidrológica del río Verde Chico.

Los afluentes más importantes del río Muyo considerados en una parte de su cuenca hidrográfica delimitada por captación de agua de la central Hidroeléctrica Río Verde Chico alta y Vizcaya, son: Río Cristal, Río Valencia, Quebrada Montañita, Quebrada del Palacio y río Muyo, ver figura 52.

Los nombres de estos afluentes se indagaron a personas residentes en el sector de Vizcaya, quienes aseguraron que las quebradas Montañita y El Palacio siempre tienen presencia de agua, y ésta proviene de vertientes naturales.

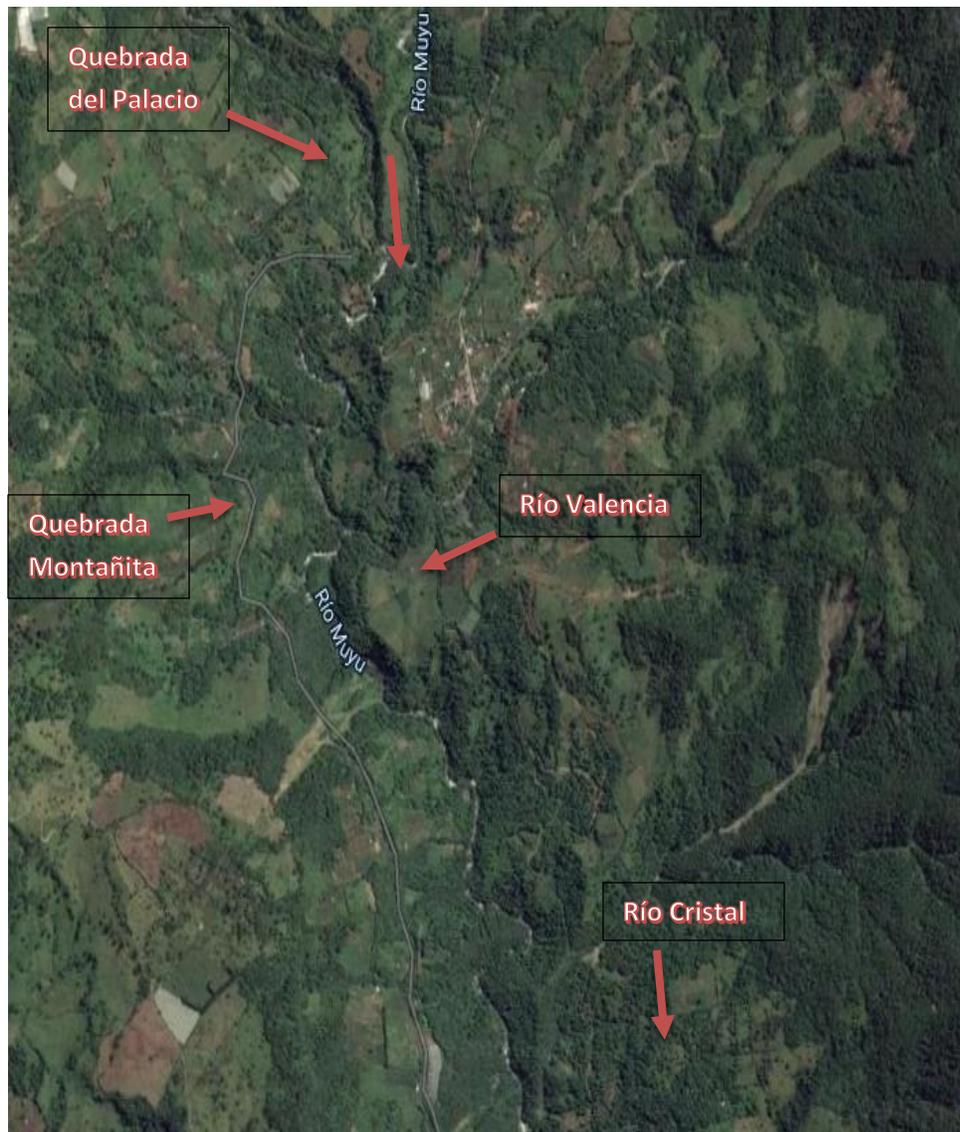


Figura 52. Visualización de afluentes más importantes de la cuenca del río Muyo en la zona desde captación de agua de la central Hidroeléctrica Río Verde Chico hasta Vizcaya.

Elaborado por: El Investigador

3.5.3. Delimitación de superficie para el monitoreo de la cuenca hidrológica del Río Verde Chico.

El monitoreo del Río Muyo, se lo realizó en la zona de su cuenca hidrográfica delimitada por el sector de captación de agua de la central Hidroeléctrica Río Verde Chico y Vizcaya que es caserío de la parroquia Ulba del cantón Baños de Agua Santa.

En esta zona se encuentran cuatro afluentes aportantes al río Muyo de gran importancia: Río Cristal, Río Valencia, Quebrada Montañita, Quebrada del Palacio y río Muyo.

Desde el sector de Captación de agua de la central hidroeléctrica Río Verde Chico, en las coordenadas: -1.370414966892554,-78.40295415078737, hasta la quebrada del Río Cristal ubicado en las coordenadas: -1.3580589007523445,-78.39920757141113. Enlace mostrado en la figura 53.

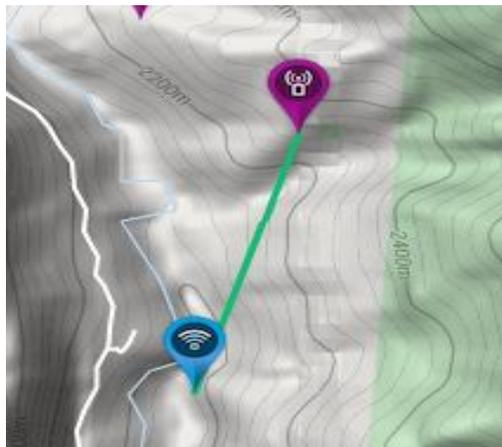


Figura 53. Enlace desde sector de captación al punto de visualización del río Cristal.

Elaborado por: El Investigador

Desde un punto de repetición, en las coordenadas: -1.3536014534312055,-78.4030940317383, hasta la quebrada del Río Valencia ubicado en las coordenadas: -1.351705,-78.405335. Enlace mostrado en la figura 54.

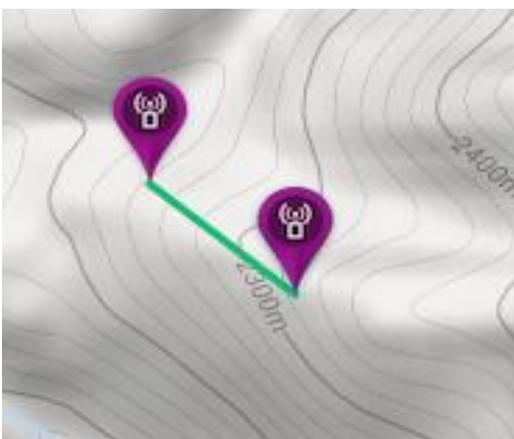


Figura 54. Enlace desde sector de punto de repetición, al punto de visualización del río Valencia.

Elaborado por: El Investigador

Desde un punto de repetición, en las coordenadas: -1.3536014534312055, -78.4030940317383, hasta la quebrada Montañita ubicado en las coordenadas: -1.348346, -78.411621. Enlace mostrado en la figura 55.

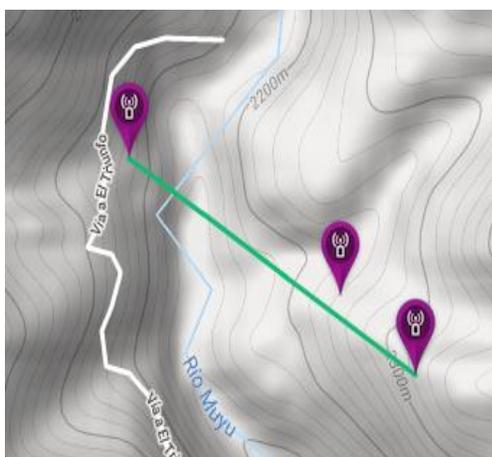


Figura 55. Enlace desde sector del punto de repetición al punto de visualización de la quebrada Montañita.

Elaborado por: El Investigador.

Desde un punto de repetición, en las coordenadas: -1.3536014534312055,-78.4030940317383, hasta la quebrada del Palacio ubicado en las coordenadas: -1.340922,-78.409011. Enlace mostrado en la figura 56.



Figura 56. Enlace desde sector de punto de repetición, hasta el punto de visualización de la quebrada del Palacio.

Elaborado por: El Investigador.

Desde un punto de repetición, en las coordenadas: -1.3536014534312055,-78.4030940317383, hasta el río Muyo en las coordenadas: -1.339374,-78.407099. Enlace mostrado en la figura 57.



Figura 57. Enlace desde sector de punto de repetición, hasta el punto de visualización del río Muyo.

Elaborado por: El Investigador.

Desde el sector de Captación de agua de la central hidroeléctrica Río Verde Chico, en las coordenadas: -1.370414966892554,-78.40295415078737, hasta el punto de repetición ubicado en las coordenadas: -1.3536014534312055,-78.4030940317383. Enlace mostrado en la figura 58.



Figura 58. Enlace desde sector de captación de agua de central hidroeléctrica, hasta punto de repetición.

Elaborado por: El Investigador.

3.5.4. Búsqueda de tecnologías y equipos adecuados a las características climáticas de la cuenca hidrológica del río Verde Chico.

Comunicación inalámbrica

La comunicación de datos de manera inalámbrica es indispensable para la conexión de los nodos ubicados en los afluentes del río Muyo con la estación base ubicada en la zona de captación. La geografía de la zona a monitorear y las distancias entre punto y punto han sido parámetros cruciales al momento de escoger un tipo de tecnología, en base a la cantidad de tráfico en la red, la velocidad de transmisión y la distancia de transmisión se ha escogido el estándar 802.11. Se muestra en la siguiente tabla una comparación de las diferentes tecnologías de comunicaciones inalámbricas.

Tabla 13. Comparación entre tecnologías de comunicación inalámbrica.

Tecnología inalámbrica	Bluetooth	Zigbee	Wimax	802.11
Estándar	IEEE 802.15.1 IEEE 802.15.2	IEEE 802.15.4	IEEE 802.16	IEEE 802.11
Velocidad de transmisión	1Mbps 3Mbps	250Kbps	100Mbps	(b) 11Mbps (a) 54 Mbps (g) 54 Mbps (n) 600 Mbps (ac) 1,3 Gbps
Modulación	PSK – FSK	BPSK-QPSK	OFDM	PSK – OFDM
Ancho de banda	1 – 30 Mbps	20 – 250Kbps	DAMA – TDMA	11 – 300 Mbps
Frecuencia	2.4 GHz	2.4 GHz	2.3 – 3.5 GHz	2.4 GHz 5 GHz
Ventajas	Bajo consumo de energía. No requiere línea de vista directa. Bajo costo	Bajo consumo de potencia. Son baratos.	Posee modulación adaptativa. Cubre grandes distancias con tasa de transmisión de datos alta.	Existen muchos equipos y dispositivos en stock en el mercado.
Desventajas	Cubre cortas distancias. Velocidad de transmisión baja.	La tasa de transferencia de datos en baja. Cubre distancias medianas.	Equipos costosos. No existe mucho stock de productos.	No permite operar en banda no licenciada. No posee buena seguridad de red.

Elaborado por: EL investigador en base, [33], [47], [48]

Se ha descartado el uso de tecnologías como Bluetooth debido a que la distancia de transmisión es muy corta, Zigbee porque la tasa de transferencia de datos es muy baja y Wimax ya que es costoso en comparación con 802.11 y no existen variedad de equipos en el mercado. Se decidió utilizar la tecnología 802.11, porque existen mayor cantidad de productos disponibles en el mercado, es barato en comparación con Wimax, tiene una gama muy amplia de velocidad de transferencia de datos y las distancias de transmisión son altas.

En la siguiente tabla se muestra una comparación entre las diferentes variantes tecnológicas del estándar 802.11, debido a que se va a transmitir en grandes distancias, se ha considerado utilizar la tecnología 802.11ac, posee mayor capacidad de transmisión, alta tasa de transferencia de datos, cubre grandes distancias en exteriores y existe en el mercado

productos a bajos costos con esta tecnología, por ende en la banda de frecuencia que se va a trabajar es en la de 5GHz.

Tabla 14. Comparación técnica del estándar 802.11

Estándar	IEEE 802.11 a	IEEE 802.11 b	IEEE 802.11 g	IEEE 802.11 n	IEEE 802.11 ac
Frecuencia	5 GHz	2.4 GHz	2.4 GHz	2.4 ó 5 GHz	5 GHz
Velocidad	54 Mbps	11Mbps	54Mbps	600Mbps	1.3Gbps
Modulación	OFDM	SSDS/FH	OFDM	OFMD	OFDM
Ancho de banda	20MHz	20MHz	20MHz	40MHz	160MHz

Elaborado por: El Investigador, basado en, [49], [50], [51].

Enlace punto - punto o punto multipunto:

En este proyecto, la red punto a punto no es factible porque sería una pérdida de recursos, debido a que existen varios puntos terminales que deben comunicarse a un solo punto central. La topología a la que más se asemeja es topología estrella, y en enlace a utilizar sería punto a multipunto.

Una red inalámbrica punto a multipunto, en una comunicación entre un único equipo central, en el caso del proyecto, se tiene la estación base ubicada en las instalaciones de captación, que cumple la función de transmisor, con diferentes equipos receptores que se ubican en los puntos de los afluentes más importantes de la zona, es decir, una conexión centralizada en un nodo específico hacia diferentes lugares. Estas redes punto a multipunto se encuentran conformados por una antena omnidireccional o varias antenas sectoriales que cumplen la función de equipo transmisor y varios dispositivos suscriptores o antenas direccionales que se encargan de la recepción de la señal transmitida para que así los puntos ubicados en los afluentes del río Muyo tengan conexión al nodo de captación. Las redes inalámbricas punto a multipunto son una de las tecnologías ideales para el desarrollo y el

servicio de las comunicaciones de banda ancha. A continuación se muestra un ejemplo de radio enlace punto – multipunto. [51]

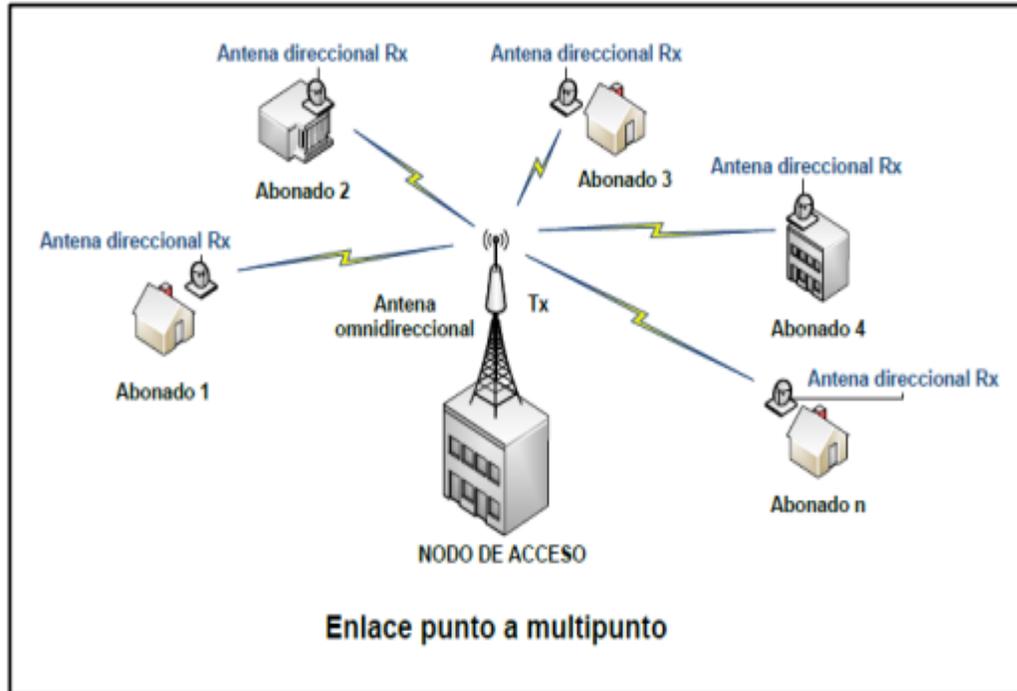


Figura 59. Enlace punto multipunto. [51]

Para el presente proyecto se ha considerado realizar dos enlaces punto multipunto:

- Río Valencia – Montañita – Río Muyo – Palacio – Repetidora.
- Captación – Río Cristal – Repetidora.

3.5.5. Selección de tecnología y equipos adecuados para el sistema de monitoreo de la cuenca hidrológica del Río Verde Chico.

En la siguiente tabla, se exponen los equipos necesarios que se requiere para la implementación del sistema de monitoreo de la cuenca hidrológica del Río Verde Chico,

Tabla 15. Descripción de materiales a utilizar en sistema de monitoreo de cuenca hidrológica del río Muyo

Ítem	Descripción	Cantidad
1	Kit de alimentación (panel solar fotovoltaico, batería y controlador)	7
2	Equipos para enlace punto a multipunto (adaptador POE, patch cord y conector RG11, radio AP, antena AP)	2
3	Pararrayos	7
4	Puesta a tierra de antena	7
5	Cable UTP	
6	Cámaras de domo externa de 2mega pixeles.	7
7	Router CPE de Exterior 5GHz 300Mbps 13dBi	7

Elaborado por: El Investigador.

Panel solar

Los paneles solares fotovoltaicos contienen un conjunto de células solares que convierten la luz en electricidad. Las células solares tienen el efecto fotovoltaico para absorber la energía del sol y hacer que la corriente eléctrica fluya entre dos capas cargadas en la dirección opuesta. [52]

Los materiales más típicos de los que están elaborados estos paneles son el silicio cristalino y el arseniuro de galio. Para usos fotovoltaicos se crean los cristales de arseniuro de galio, y los cristales de silicio se producen para el consumo de la industria de la microelectrónica. El silicio policristalino tiene un costo reducido. [52]

Cuando se expone a una luz directa de 1 AU, una celda de silicio de 6 centímetros de diámetro puede producir una corriente de 0,5 amperes a 0,5 voltios. Aunque el arseniuro de galio es más eficiente. [52]

Análisis de panel solar

Se realiza un análisis técnico de los paneles solares vigentes en el mercado en la tabla 16.

Tabla 16. Características de paneles solares

Parámetros técnicos		
	Xiopd	Sungim
Material	Cristales de silicon	Silicio monocristalino
Potencia	50 W	50 W
Número de celdas	36	36
Tensión	18 V	18 V
Peso	4.5 kg	4 kg
Corriente de cortocircuito	2.99 A	1.67 A
Eficiencia	13.2 %	12.5 %
Caja de conexiones	IP 65	IP 65
Precio	45 \$	40 \$

Elaborado por: El Investigador basado en [53], [54]

El panel solar que se ha elegido para este proyecto es el Sungim, debido a que posee una potencia de 50W suficiente para abastecer energéticamente al sistema del radio enlace, tiene una eficiencia del 12.5% y es más barata.

Batería para panel solar

Una batería está formada por uno o dos electrolitos (líquido), en cuyo interior se introducen dos placas de metales diferentes llamados electrodos. Para fotovoltaica el electrolito suele ser una disolución de ácido sulfúrico (ácido sulfúrico en agua destilada) y los electrodos de Plomo, por eso se suelen llamar de Plomo ácido. [55]

La vida útil de una batería se mide en la cantidad de ciclos de carga - descarga que es capaz de realizar. Es decir, si se la somete a un régimen de trabajo de muchos ciclos diarios, probablemente sólo durará unos meses, mientras que si el régimen es de un ciclo diario o incluso más la batería puede durar al menos diez años. [55]

En la siguiente figura se muestra el esquema de un sistema de alimentación por paneles solares:

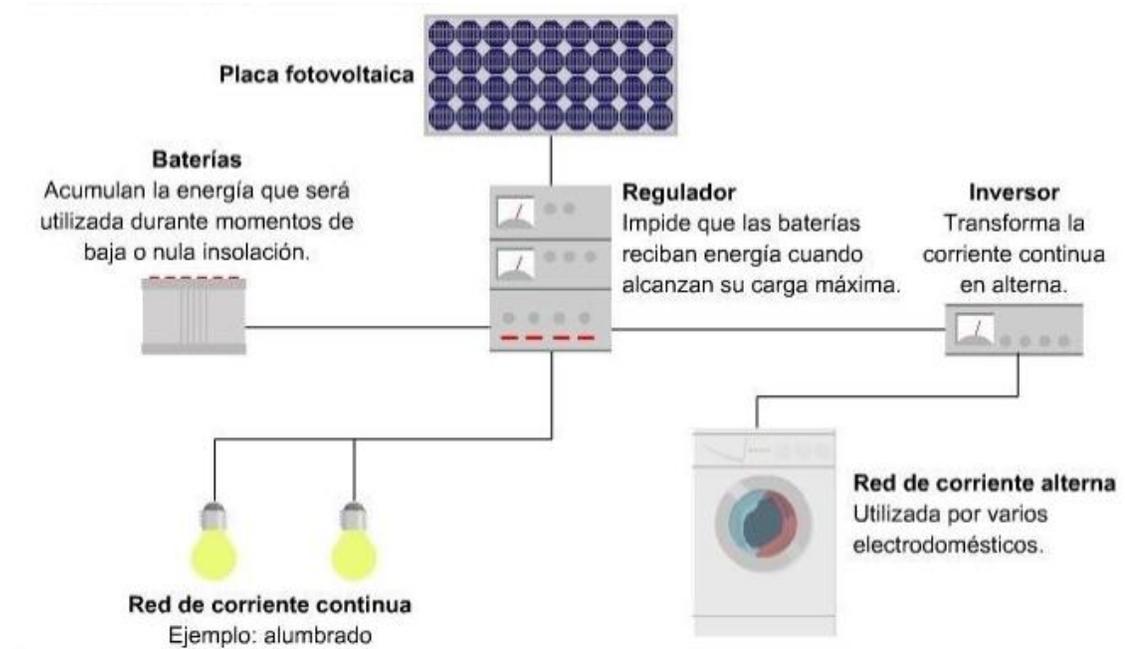


Figura 60. Instalación fotovoltaica convencional. [55]

Las principales funciones de las baterías dentro de una instalación solar fotovoltaica son:

- Nivelación de picos de tensión, a más de eso una batería puede proporcionar una intensidad de corriente superior a la que el panel fotovoltaico generara instantáneamente (potencia instantánea).
- Suministro de energía de apoyo en temporadas con escasa luz solar. Almacenar energía en horas de bajo consumo y cederla en horas pico de demanda de energía.
- Garantizar, la estabilidad de funcionamiento de la instalación fotovoltaica. [55]

Análisis de batería

Se realiza un análisis técnico de las baterías vigentes en el mercado en la tabla 17.

Tabla 17. Características entre baterías para sistema de alimentación

Parámetros técnicos		
	Batería AMG 250 Ah modelo KBAS122500	Batería solar 260 Ah
Tecnología	Sin mantenimiento	Sin mantenimiento
Auto-descarga	Ligera	Mínima
Dimensiones	522 x 240 x 218 mm	518 x 276 x 242 mm
Tensión	24 VDC	24 VDC
Peso	57 kg	60 kg
Corriente	250 Ah A	260 Ah

Elaborado por: El Investigador basado en [56], [57]

La batería que se ha elegido para este proyecto es la Batería AMG 250 Ah modelo KBAS122500, debido a que la auto-descarga es ligera, se puede conseguir 250Ah A lo que es suficiente para abastecer energéticamente a los equipos conectados al sistema, y por las condiciones geográficas de la instalación del radio enlace, el peso es un factor importante, y esta batería pesa 57kg, 3 kg menos que la batería solar con la cual se está comparando.

Estación base

Una estación base es aquella instalación sea fija o móvil de radio para la comunicación bidireccional. La estación base es un punto de acceso a una red de comunicación, para que dos terminales se comuniquen entre sí debe ser a través de la estación base.

En el área de las redes inalámbricas, una estación base es un transmisor/receptor de radio que sirve como nexo de la red de área local inalámbrica. También puede servir como pasarela entre las redes inalámbrica y fija. [58]

Análisis de equipo de radio para estación base

Se realiza un análisis técnico de las estaciones base, vigentes en el mercado en la tabla 18:

Tabla 18. Características entre radios para estación base

Parámetros técnicos		
	Ubiquiti® airMAX ac Modelo RP-5AC-Gen2	Ubiquiti® airMAX n Modelo Rocket M5
Dimensiones	88 x 40 x 230 mm	160 x 80 x 30 mm
Interfaz de red	10/100/1000 Ethernet Port	10/100 Mbps
Conectores RF	(2) RP-SMA (Waterproof), (1) GPS* (Waterproof)	(2) RP-SMA (Waterproof)
Max. Potencia de consumo	9.5 W	8 W
Fuente de alimentación	24 V DC	24 V DC
Rango de voltaje que soporta	18 a 26 V DC	-----
Temperatura de operación	-40 a 80° C	-30 a 75° C

Humedad de operación	5 – 95 %	5 a 95%
Plug and play	Si	Si
Frecuencia	5 GHz	5 GHz
Tecnología	Airmax AC	Airmax N
Velocidad	+ 500 Mbps	+ 150 Mbps
Numero de APs vs ancho de banda	4 APs ----- 80MHz 8 APs ----- 40 MHz 16 APs ----- 20 MHz	-----

Elaborado por: El Investigador basado en [59], [60]

El equipo de radio que se ha elegido para este proyecto es el Ubiquiti® airMAX ac Modelo RP-5AC-Gen2, debido a que es mas pequeño y portable, ofrece varias opciones de interfaz de red, trabaja para el estándar 802.11 ac con una velocidad mayor a 500Mbps.

Antena. Una antena es un conductor metálico que tiene la capacidad de radiar o recibir ondas electromagnéticas, es decir, la antena es la interfaz entre un transmisor, el espacio libre y un receptor. Existe un sin número de tipos de antenas creados para cubrir los requerimientos de las comunicaciones inalámbricas, entre las cuales se cita a las siguientes:

Antena direccional. Son aquellas antenas capaces de focalizar la mayor parte de la energía radiada hacia un determinado sector, con esto se logra obtener mayor alcance de cobertura hacia un receptor. Debido al gran alcance de cobertura de estas antenas, son utilizadas en enlaces punto a punto. [51]

Antena omnidireccional. Las antenas omnidireccionales son aquellas diseñadas para irradiar energía en todas las direcciones, es decir, irradian los 360°, con el objetivo de que cualquier dispositivo que se encuentre en el perímetro, pueda recibir la señal y establecer una conexión inalámbrica. Por esta característica, estas antenas son utilizadas en enlaces punto multipunto.

Antena sectorial. Las antenas sectoriales son una variante de antenas direccionales, con la característica de que este tipo de antenas tienen un ángulo de radiación mayor, es decir irradian en forma de sector. Los diseños más comunes son: 60°, 90° y 120° y una de las ventajas es que se pueden utilizar en enlaces punto – punto y punto multipunto. [51]

Análisis de antenas. Se realiza un análisis técnico de las antenas vigentes en el mercado en la tabla 19:

Tabla 19. Cuadro comparativo de antenas para radio enlace

Parámetros técnicos		
	LiteBeam AC gen 2	airMAX Sector Modelo AM-5G20-90
Tipo de antena	Direccional	Sectorial
Dimensiones	358 x 271.95 x 272.5 mm	700 x 135 x 70 mm
Interfaz de red	10/100/1000 Ethernet Port	-----
Ganancia	23 dBi	20 dBi
Max. Potencia de consumo	7 W	5.5 W
Fuente de alimentación	24V, 0.3A Gigabit PoE Adapter (Included)	----
Rango de voltaje que soporta	24 V ± 10%	-----
Temperatura de operación	-40 a 70° C	-30 a 75° C
Humedad de operación	5 – 95 %	5 a 95%
Frecuencia	5 GHz	5 GHz
Tecnología	Airmax AC	-----

Punto multipunto	Si	Si
MIMO	-----	Si

Elaborado por: El Investigador basado en [61], [62]

La antena que se ha elegido para el presente proyecto es la LiteBeam AC gen 2, debido a que trabaja con el estándar 802.11 ac, posee una ganancia de 23dBi, al ser direccional posee mayor cobertura y a más de eso está diseñada para enlaces punto a punto y punto a multipunto.

Pararrayos. El pararrayos son estructuras metálicas que tienen como principal funcionalidad interceptar y canalizar desde su origen una descarga eléctrica atmosférica. Entre las principales características es que este sistema no requiere alimentación, no posee aparatos electrónicos, los materiales poseen alta resistencia a la temperatura y los diferentes modelos existentes en el mercado proporcionan alta eficacia de descarga.

Pararrayo tipo Franklin. El pararrayo Franklin es de tipo pasivo, está formado por un vástago como pieza central y en algunas variantes posee 4 piezas laterales de acero inoxidable o cobre níquel. El funcionamiento de este tipo de pararrayo consiste en que a través de la conexión de toma de tierra, la carga positiva asciende del suelo hasta la punta del pararrayos, que al situarse en una altura, se convierte en un punto de caída del rayo. [63]

Análisis de Pararrayos

Se realiza un análisis técnico de los pararrayos más comunes vigentes en el mercado en la tabla 20:

Tabla 20. Comparación entre pararrayos Franklin

Parámetros técnicos		
	Pararrayo Franklin mono puntal	Pararrayos Franklin de 5 puntas
Dimensiones	Punta 45cm Diámetro 22 mm	Punta principal 45cm x 22 mm diámetro. 4 puntas adicionales 15cm x 12 mm de diámetro
Terminal de unión	Para cable 2/0 AWG	Para cable 2/0 AWG
Peso	2 Kg	2 Kg
Material	Acero inoxidable	Acero inoxidable
Radio de cobertura	3m en 1 nivel	3m en 1 nivel

Elaborado por: El Investigador basado en [64], [65]

El pararrayo que se ha elegido para este proyecto es el tipo Pararrayo Franklin mono puntal, debido a que se encuentra más fácilmente en el mercado, el precio y la utilidad de ambos pararrayos son similares.

Cable Ethernet

UTP o par trenzado sin blindaje, es el tipo de cable más sencillo y no tiene apantallamiento que proteja los hilos de cobre de la interferencia electromagnética, solamente cuenta con recubrimiento de plástico.

FTP o par de trenzado con pantalla global, es un cable con apantallamiento metálico para todos los hilos de cobre. Esto protege a los cables de las interferencias externas, pero, no están protegidos de forma individual.

STP o par de trenzado blindado, este tipo de cable sí tiene una funda metálica para cada uno de los pares de hilos trenzados que van dentro del cable Ethernet. Así se tiene una protección fuerte para la señal.

SFTP o par de trenzado blindado y apantallado, este tipo de cable es el más protegido de todos los cables Ethernet del mercado que cuenta con la protección individual para cada par de hilo trenzado y también cuenta con la protección de apantallamiento global de todos los pares. [66]

Análisis de cable Ethernet

Se realiza un análisis técnico del cable Ethernet vigente en el mercado para las necesidades del proyecto, en la tabla 21:

Tabla 21. Comparación entre categorías de cable Ethernet

CAT	DISTANCIA	VELOCIDAD MÁXIMA (Mb/s)				PoE	MHz
		10	100	1000	10000		
Cat 5	100	X	X			X	100
Cat 5e	100	X	X	X		X	100
Cat 6	100	X	X	X		X	150
Cat 6a	100	X	X	X	X	X	500

Elaborado por: El Investigador, basado en [67]

El tipo de cable que se va a utilizar es el STP, debido a que posee un apantallamiento metálico para cada par de hilos de cobre, de esta manera se protege contra interferencias electromagnéticas, y a más de eso la categoría que se va a utilizar es la CAT5e que tiene una velocidad máxima de 1000Mbps incluido PoE con una distancia de 100m, son las

condiciones necesarias para aplicar en el proyecto y a más de eso obtener una red robusta y eficiente.

Análisis de cámaras IP domo

Se realiza un análisis técnico de las cámaras IP domos más comunes vigentes en el mercado en la tabla 22:

Tabla 22. Análisis técnico de cámaras IP domo para exteriores.

Parámetros técnicos		
	Hikvision modelo: DS-2DF8248IX-AEL(W) (C)	DAHUA modelo: DH-SD59230U-HNI
Resolución	1920(H)x1080(V), 2 Megapíxeles	1920(H)x1080(V), 2 Megapíxeles
Sensor de imagen	1/1.8" progressive scan CMOS	1/2.8" STARVIST™ CMOS
Zoom digital	16x	16 x
Zoom óptico	48x	30x
Velocidad de zoom	5 s	---
Distancia IR	400m	Sobre 150 m
Visión	-----	Detecta 1862 m Observa 744 m Reconoce 372 m Identifica 186 m
Ángulos de visión	Horizontal: 59.8° a 1.5° (wide-tele) Vertical: 33.6° a 0.9° (wide-tele) Diagonal: 68.6° a 1.8° (wide-tele)	-----
Etherneth	Conector RJ-45	Conector RJ-45
Protocolos	IPv4/IPv6, HTTP, HTTPS, 802.1x, QoS, FTP, SMTP, UPnP,	IPv4/IPv6, HTTP, HTTPS, SSL, TCP/IP, UDP, UPnP,

	SNMP, DNS, DDNS, NTP, RTSP, RTCP, RTP, TCP/IP, DHCP, PPPoE, UDP, IGMP, ICMP, Bonjour, multicast	ICMP, IGMP, SNMP, RTSP, RTP, SMTP, NTP, DHCP, DNS,PPPOE,DDNS,FTP, IP Filter,QoS,Bonjour,802.1x
Fuente de alimentación	24 V AC o Hi-PoE	AC 24V / 3A PoE
Consumo de potencia	24 VAC Max. 60 W Hi-PoE Max. 50 W	13W Max. 23 W con IR
Temperatura de trabajo	-40°C to 70°C	-40°C to 70°C
Peso	8 Kg	7.2 Kg
Protección ambiental	IP67	IP 66

Elaborado por: El Investigador basado en [68], [69]

EL tipo de cámara de domo que se recomienda utilizar es DAHUA modelo: DH-SD59230U-HNI, debido a que posee una buena protección contra polvo y agua con un IP 66, a más de eso la potencia que consume es solamente de 13 W en contraste con los 60W de consumo de la cámara Hik vision, este modelo Dahua tiene una capacidad de detección de 1862 m, y visión nocturna sobre 150m, tiene alimentación con puerto PoE y pesa 7.2kg.

Análisis de Router de exterior

Se realiza un análisis técnico de los routers CPE de exterior, más comunes vigentes en el mercado en la tabla 23:

Tabla 23. Análisis técnico de Router para exteriores

Parámetros técnicos		
	TP link CPE510	MT-Style-Wireless Routers

Frecuencia	5 GHz	5 GHz
Velocidad de transmisión	300Mbps	433 Mbps
Ganancia de la antena	13dBi	12dBi
Potencia de transmisión	0 a 27dBm / 500mw	23dBm
Alcance	15km	10km

Elaborado por: El Investigador, basado en: [70], [71]

Se recomienda la adquisición del equipo TP link CPE510, debido a su mayor cobertura, mayor ganancia de la antena interna y debido a que se puede seleccionar la potencia de transmisión con el objetivo de modificar el alcance de la transmisión.

3.5.6. Diseño del sistema de monitoreo de la cuenca hidrológica del Río Muyo

Panorama general del radio enlace en figura 61:



Figura 61. Panorama general del radio enlace diseñado para el monitoreo de la cuenca hidrológica del río Muyo para la central hidroeléctrica Río Verde Chico.

Elaborado por: El Investigador.

Desde el sector de Captación de agua de la central hidroeléctrica Río Verde Chico, en las coordenadas: -1.370414966892554,-78.40295415078737, hasta la quebrada del Río Cristal ubicado en las coordenadas: -1.3580589007523445,-78.39920757141113. Simulación detallada en Figura 62 - 63 y tabla 24.

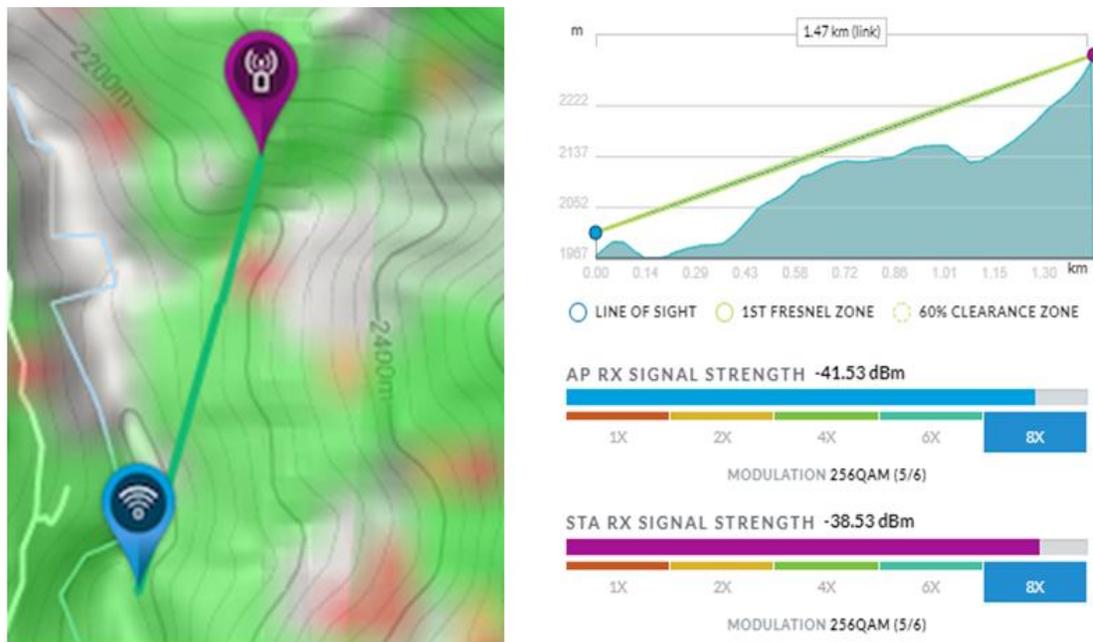


Figura 62. Radio enlace y simulación de factibilidad con detalle de zona de Fresnel.

Elaborado por: El Investigador.

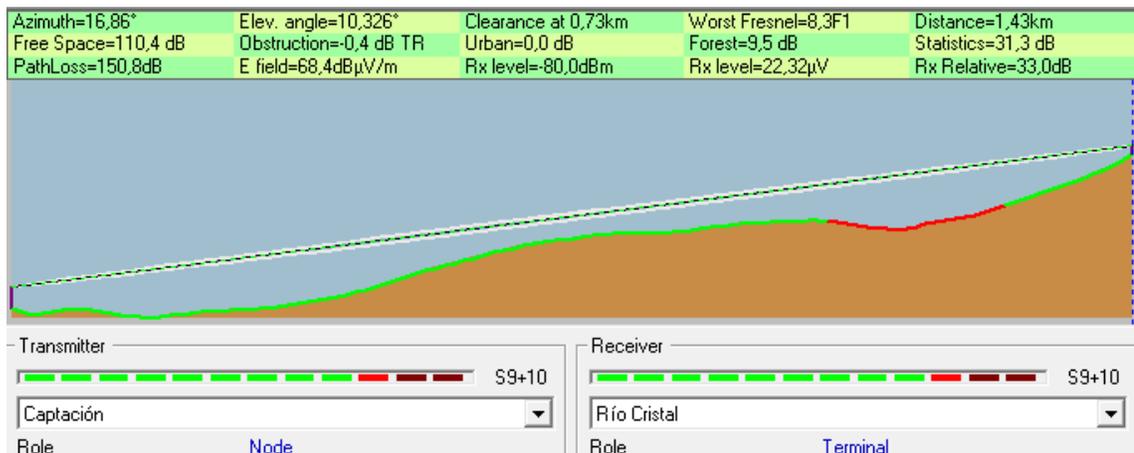


Figura 63. Radio enlace y simulación en radio móvil.

Elaborado por: El Investigador.

Tabla 24. Detalles técnicos de simulación de radio enlace entre Captación y el río Cristal.

Distancia entre antenas	1.4	Km	
Capacidad total	121.10	Mbps	
Frecuencia	5	GHz	
Tecnología	802.11 ac		
Ancho de banda	20	MHz	
Rango de cobertura del terreno	20	Km	
Características de las antenas			
Ganancia de la antena Río Cristal	23dBi	Ganancia de antena Captación	20dBi
Altura de antena Río Cristal	10m	Altura de antena Captación	40m
PIRE antena Río Cristal	48dBm	PIRE antena Captación	48dBm

Elaborado por: El Investigador.

Para este radio enlace, la distancia es de 1.43km y se puede visualizar en la simulación del programa RADIO MOBILE que posee línea de vista directa, despejada y limpia, desde el transmisor ubicado en captación hasta el receptor ubicado en el Río Cristal. El despeje de la primera zona de Fresnel es de 8.3F1, que es un valor sobre el límite establecido de 0.6F1. Y las pérdidas totales son de 150.8dB

El radio enlace es viable para la implementación. Desde un punto de repetición, en las coordenadas: -1.3536014534312055,-78.4030940317383, hasta la quebrada del Río Valencia ubicado en las coordenadas: -1.351705,-78.405335. Simulación detallada en Figura 64 – 65 y tabla 25.

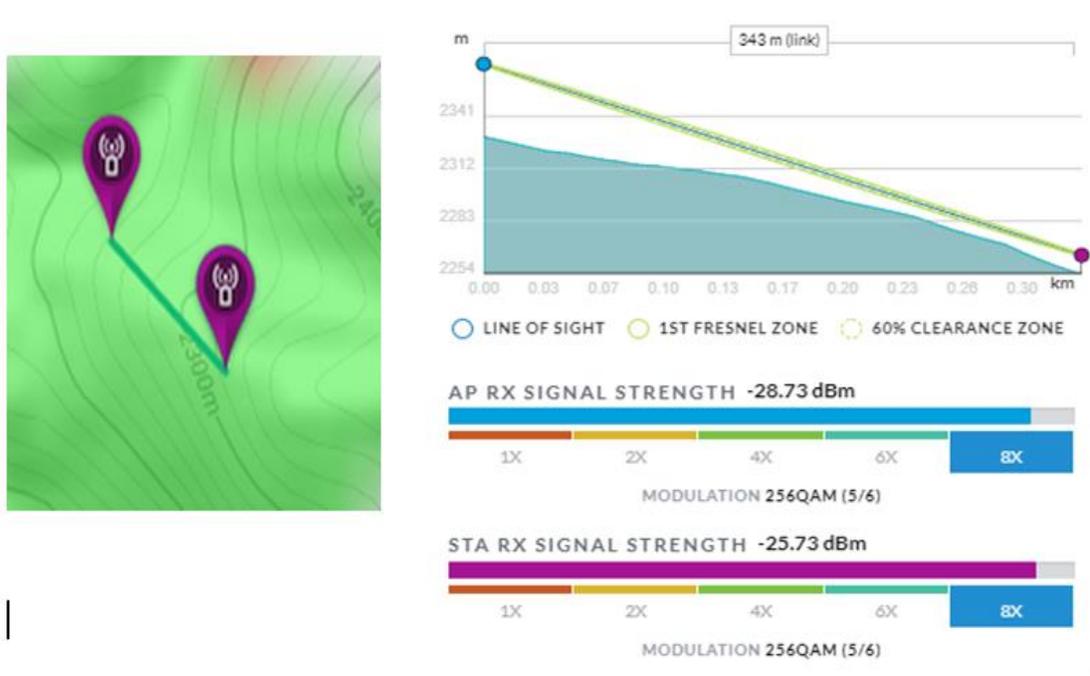


Figura 64. Radio enlace y simulación de factibilidad con detalle de zona de Fresnel.

Elaborado por: El Investigador.

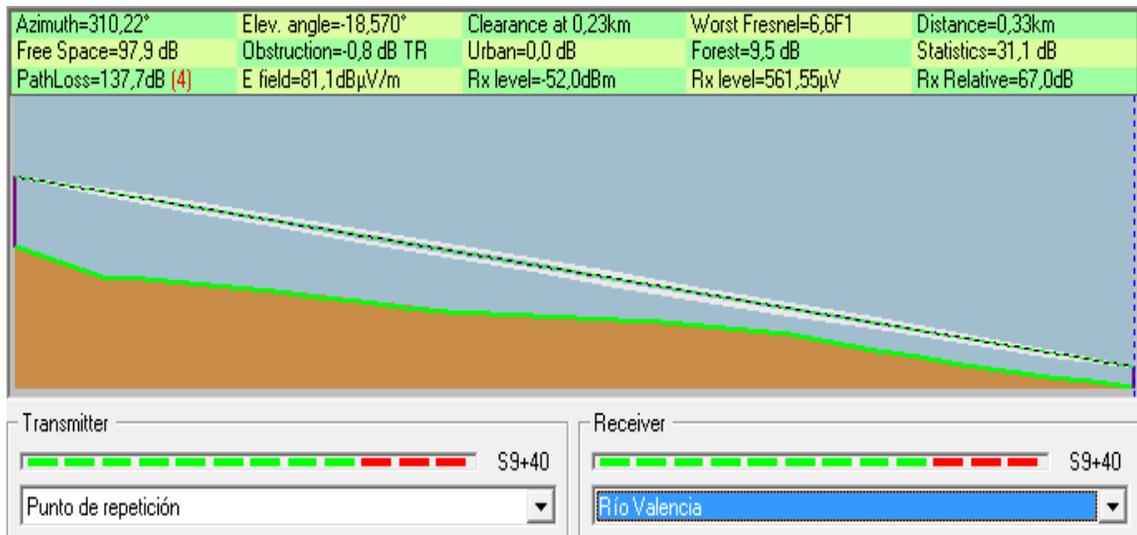


Figura 65. Radio enlace y simulación en radio mobile.

Elaborado por: El Investigador.

Tabla 25. Detalles técnicos de simulación de radio enlace entre Punto de repetición y el río Valencia.

Distancia entre antenas	0.343	km	
Capacidad total	121.10	Mbps	
Frecuencia	5	GHz	
Tecnología	802.11 ac		
Ancho de banda	20	MHz	
Rango de cobertura del terreno	20	Km	
Características de las antenas			
Ganancia de la antena Río Valencia	23dBi	Ganancia de antena Punto de repetición	20dBi
Altura de antena Río Valencia	10m	Altura de antena Punto de repetición	40m
PIRE antena Río Valencia	48 dBm	PIRE antena Punto de repetición	48 dBm

Elaborado por: El Investigador.

Para este radio enlace, la distancia es de 0.34 km y se puede visualizar en la simulación del programa RADIO MOBILE que posee línea de vista directa, despejada y limpia, desde el transmisor ubicado en el punto de repetición hasta el receptor ubicado en el Río Valencia. El despeje de la primera zona de Fresnel es de 6.6 F1, que es un valor sobre el límite establecido de 0.6F1. Y las pérdidas totales son de 137.7dB. El radio enlace es viable para la implementación.

Desde un punto de repetición, en las coordenadas: -1.3536014534312055, -78.4030940317383, hasta la quebrada Montañita ubicado en las coordenadas: -1.348346, -78.411621. Simulación detallada en Figura 66 – 67 y tabla 26.

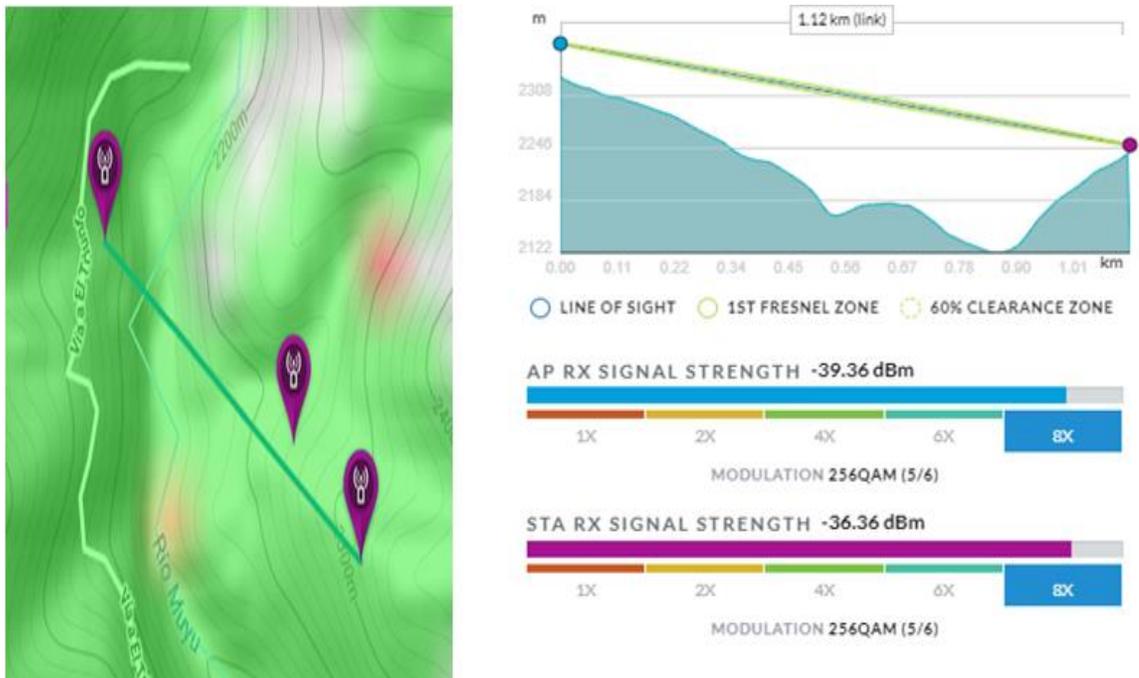


Figura 66. Radio enlace y simulación de factibilidad con detalle de zona de Fresnel.

Elaborado por: El Investigador.

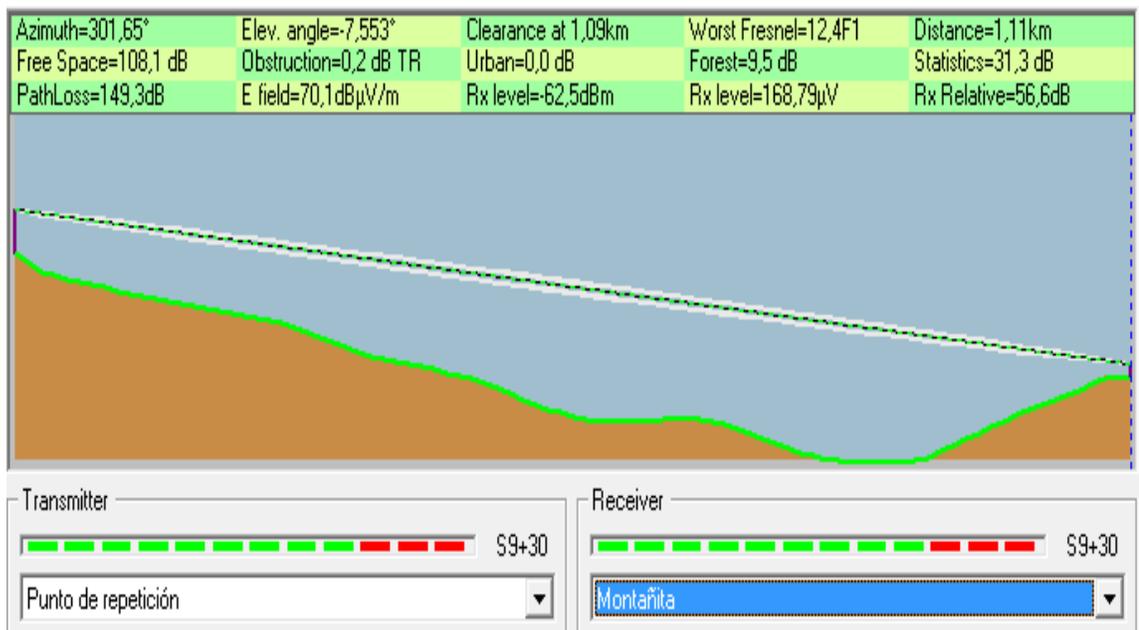


Figura 67. Radio enlace y simulación en radio mobile

Elaborado por: El Investigador.

Tabla 26. Detalles técnicos de simulación de radio enlace entre Punto de repetición y Quebrada Montañita.

Distancia entre antenas	1.12	km	
Capacidad total	121.10	Mbps	
Frecuencia	5	GHz	
Tecnología	802.11 ac		
Ancho de banda	20	MHz	
Rango de cobertura del terreno	20	Km	
Características de las antenas			
Ganancia de la antena Quebrada Montañita	23dBi	Ganancia de antena Punto de repetición	20dBi
Altura de antena Quebrada Montañita	10m	Altura de antena Punto de repetición	40m
PIRE antena Quebrada Montañita	48 dBm	PIRE antena Punto de repetición	48 dBm

Elaborado por: El Investigador.

Para este radio enlace, la distancia es de 1.12 km y se puede visualizar en la simulación del programa RADIO MOBILE que posee línea de vista directa, despejada y limpia, desde el transmisor ubicado en el punto de repetición hasta el receptor ubicado en la Quebrada Montañita. El despeje de la primera zona de Fresnel es de 12.4 F1, que es un valor sobre el límite establecido de 0.6F1. Y las pérdidas totales son de 149.3dB. El radio enlace es viable para la implementación.

Desde un punto de repetición, en las coordenadas: -1.3536014534312055,-78.4030940317383, hasta la quebrada del Palacio ubicado en las coordenadas: -1.340922,-78.409011. Simulación detallada en Figura 68 – 69 y tabla 27.

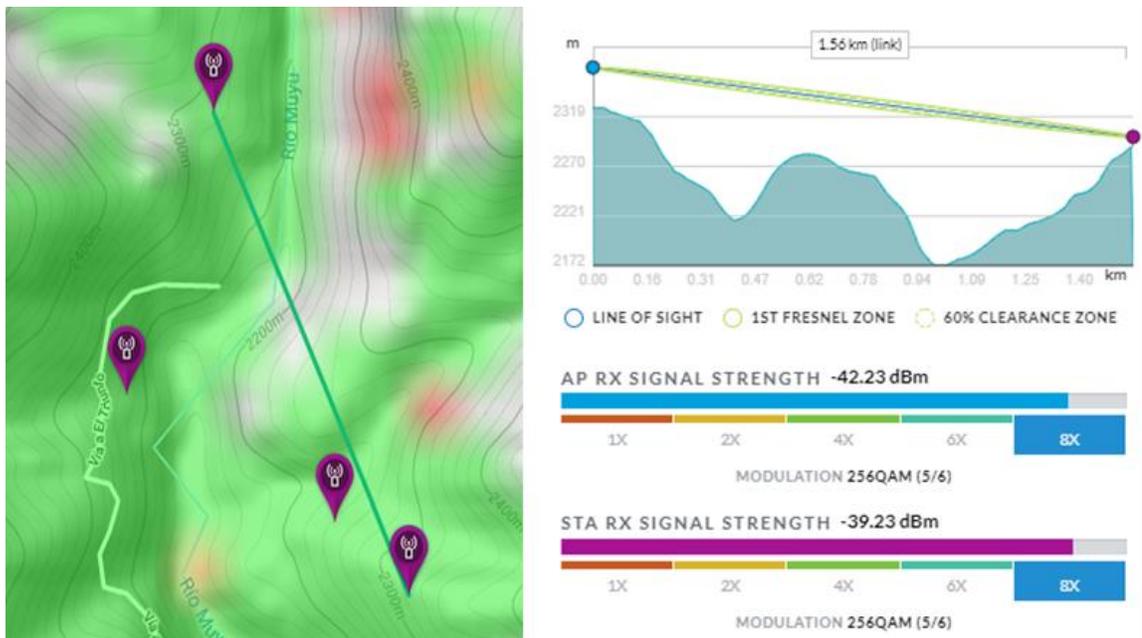


Figura 68. Radio enlace y simulación de factibilidad con detalle de zona de Fresnel.

Elaborado por: El Investigador.

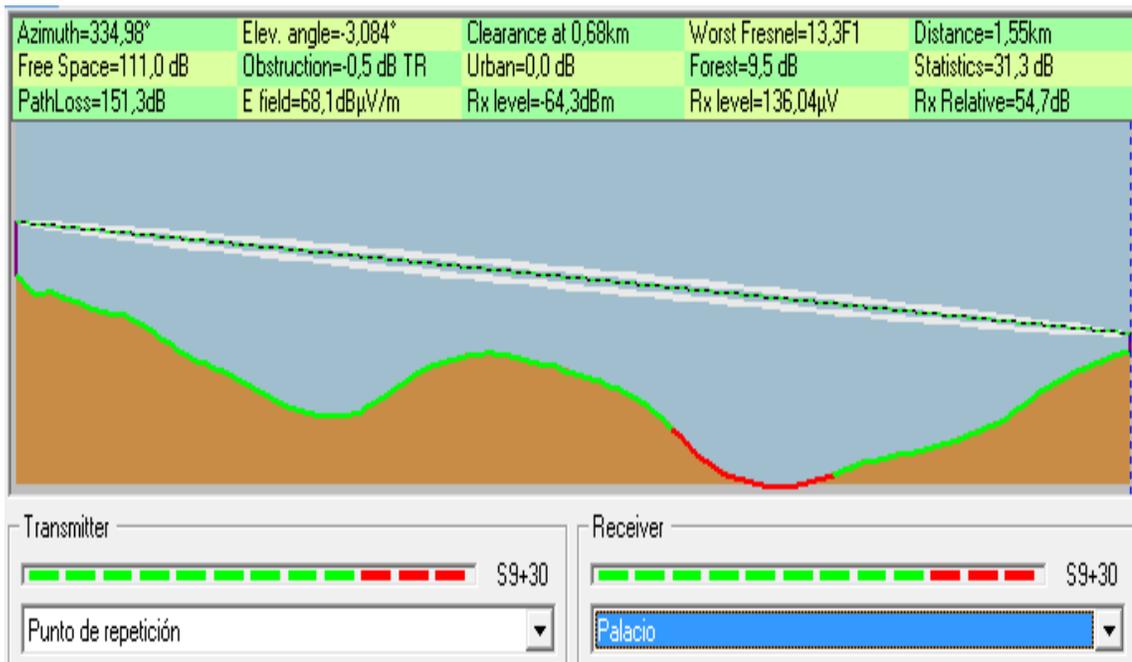


Figura 69. Radio enlace y simulación en radio mobile.

Elaborado por: El Investigador.

Tabla 27. Detalles técnicos de simulación de radio enlace entre Punto de repetición y Quebrada del Palacio.

Distancia entre antenas	1.56	km	
Capacidad total	121.10	Mbps	
Frecuencia	5	GHz	
Tecnología	802.11 ac		
Ancho de banda	20	MHz	
Rango de cobertura del terreno	20	Km	
Características de las antenas			
Ganancia de la antena Quebrada del Palacio	23dBi	Ganancia de antena Punto de repetición	20dBi
Altura de antena Quebrada del Palacio	10m	Altura de antena Punto de repetición	40m
PIRE antena Quebrada del Palacio	48 dBm	PIRE antena Punto de repetición	48 dBm

Elaborado por: El Investigador.

Para este radio enlace, la distancia es de 1.56 km y se puede visualizar en la simulación del programa RADIO MOBILE que posee línea de vista directa, despejada y limpia, desde el transmisor ubicado en el punto de repetición hasta el receptor ubicado en la Quebrada del Palacio. El despeje de la primera zona de Fresnel es de 13.3 F1, que es un valor sobre el límite establecido de 0.6F1. Y las pérdidas totales son de 151.3dB. El radio enlace es viable para la implementación.

Desde un punto de repetición, en las coordenadas: -1.3536014534312055,-78.4030940317383, hasta el río Muyo en las coordenadas: -1.339374,-78.407099. Enlace detallado en la figura 70 – 71 y tabla 28.

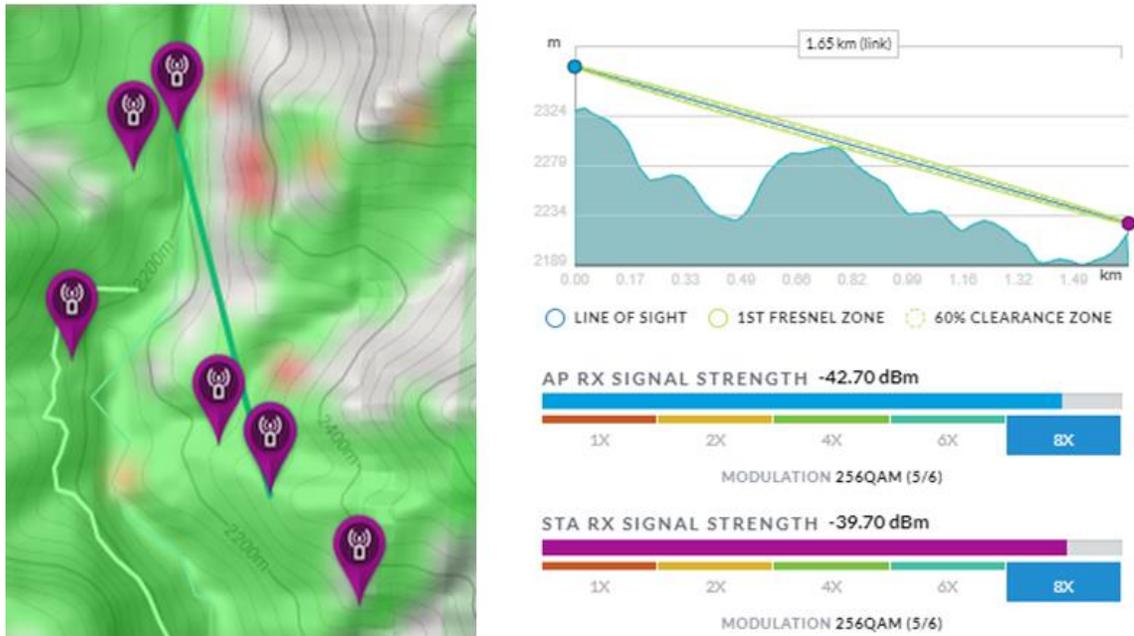


Figura 70. Radio enlace y simulación de factibilidad con detalle de zona de Fresnel.

Elaborado por: El Investigador.

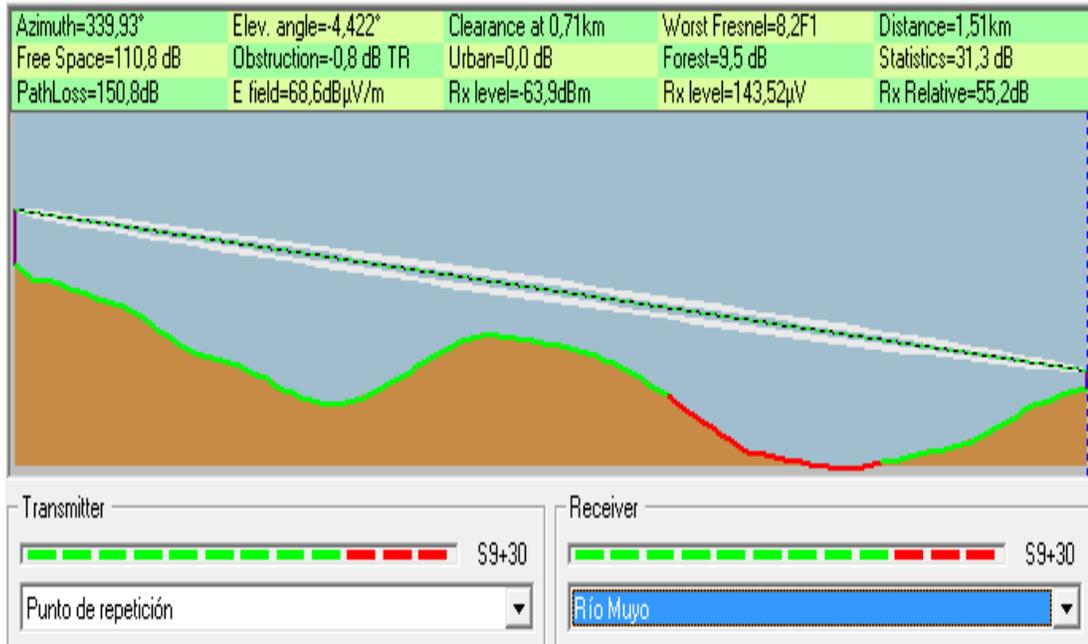


Figura 71. Radio enlace y simulación en radio mobile.

Elaborado por: El Investigador.

Tabla 28. Detalles técnicos de simulación de radio enlace entre Punto de repetición y río Muyo.

Distancia entre antenas	1.5	km	
Capacidad total	121.10	Mbps	
Frecuencia	5	GHz	
Tecnología	802.11 ac		
Ancho de banda	20	MHz	
Rango de cobertura del terreno	20	Km	
Características de las antenas			
Ganancia de la antena río Muyo	23dBi	Ganancia de antena Punto de repetición	20dBi
Altura de antena río Muyo	10m	Altura de antena Punto de repetición	40m
PIRE antena río Muyo	48 dBm	PIRE antena Punto de repetición	48 dBm

Elaborado por: El Investigador.

Para este radio enlace, la distancia es de 1.5 km y se puede visualizar en la simulación del programa RADIO MOBILE que posee línea de vista directa, despejada y limpia, desde el transmisor ubicado en el punto de repetición hasta el receptor ubicado en el Río Muyo. El despeje de la primera zona de Fresnel es de 8.2 F1, que es un valor sobre el límite establecido de 0.6F1. Y las pérdidas totales son de 150.8dB. El radio enlace es viable para la implementación.

Desde el sector de Captación de agua de la central hidroeléctrica Río Verde Chico, en las coordenadas: -1.370414966892554,-78.40295415078737, hasta el punto de repetición ubicado en las coordenadas: -1.3536014534312055,-78.4030940317383. Simulación detallada en Figura 72 – 73 y tabla 29.

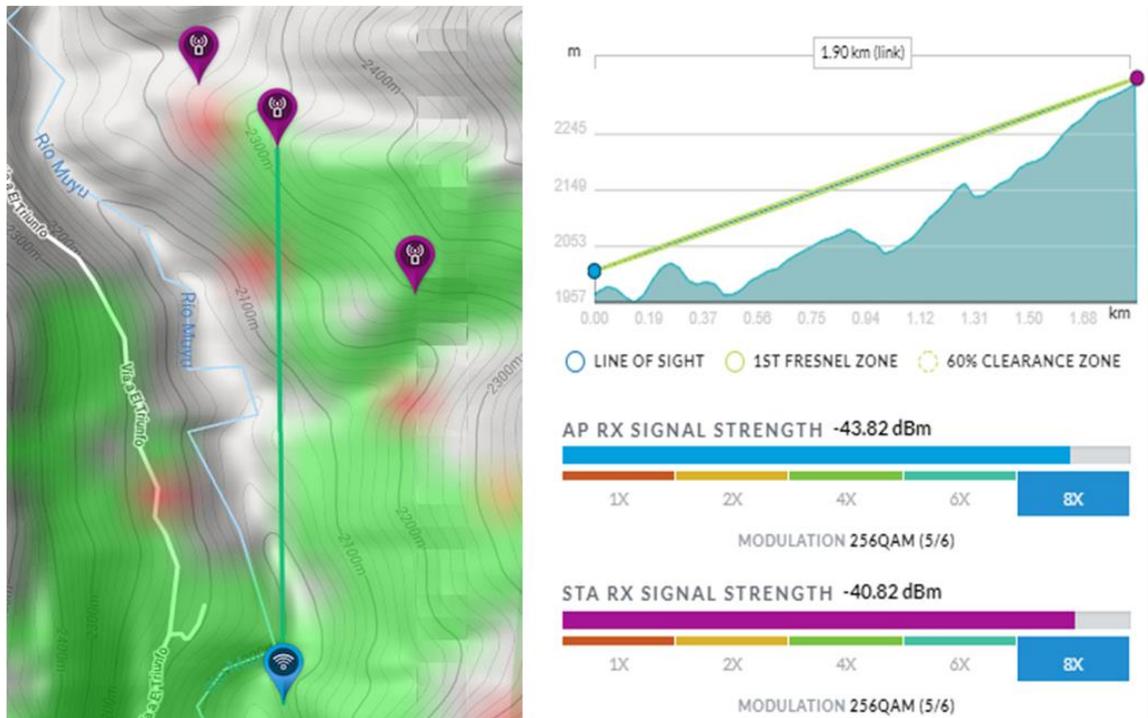


Figura 72. Radio enlace y simulación de factibilidad con detalle de zona de Fresnel.

Elaborado por: El Investigador.

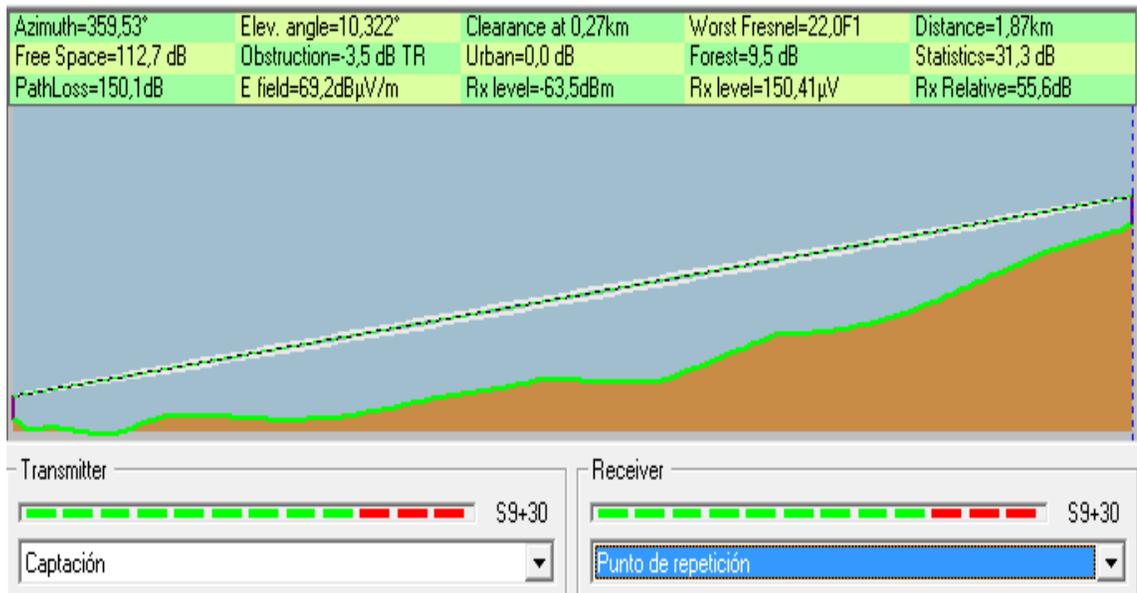


Figura 73. Radio enlace y simulación en radio mobile.

Elaborado por: El Investigador.

Tabla 29. Detalles técnicos de simulación de radio enlace entre Punto de repetición y Captación.

Distancia entre antenas	1.90	Km	
Capacidad total	121.10	Mbps	
Frecuencia	5	GHz	
Tecnología	802.11 ac		
Ancho de banda	20	MHz	
Rango de cobertura del terreno	20	Km	
Características de las antenas			
Ganancia de la antena Punto de repetición	23dBi	Ganancia de antena Captación	20dBi
Altura de antena Punto de repetición	40m	Altura de antena Captación	40m
PIRE antena Punto de repetición	48 dBm	PIRE antena Captación	48 dBm

Elaborado por: El Investigador.

Para este radio enlace, la distancia es de 1.9 km y se puede visualizar en la simulación del programa RADIO MOBILE que posee línea de vista directa, despejada y limpia, desde el transmisor ubicado en captación hasta el receptor ubicado en el punto de repetición. El despeje de la primera zona de Fresnel es de 22 F1, que es un valor sobre el límite establecido de 0.6F1. Y las pérdidas totales son de 150.1dB. El radio enlace es viable para la implementación.

Se presenta el radio enlace general para el sistema de monitoreo de la cuenca hidrológica del río Muyo y sus afluentes más importantes en las siguientes figuras.

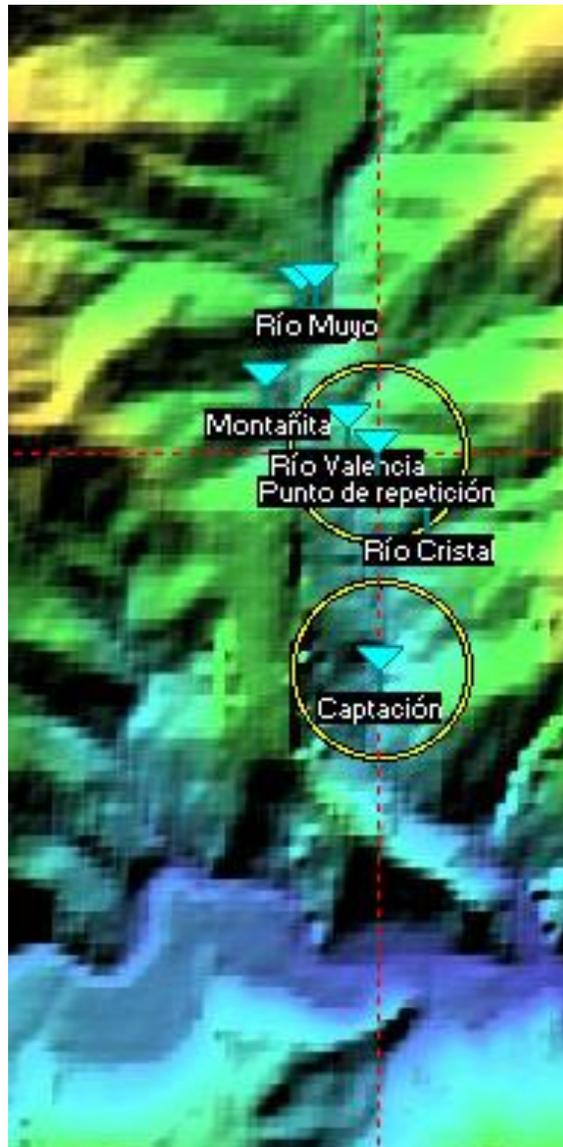


Figura 74. Vista general de radio enlace en software RADIO MOBILE.

Elaborado por: El Investigador.

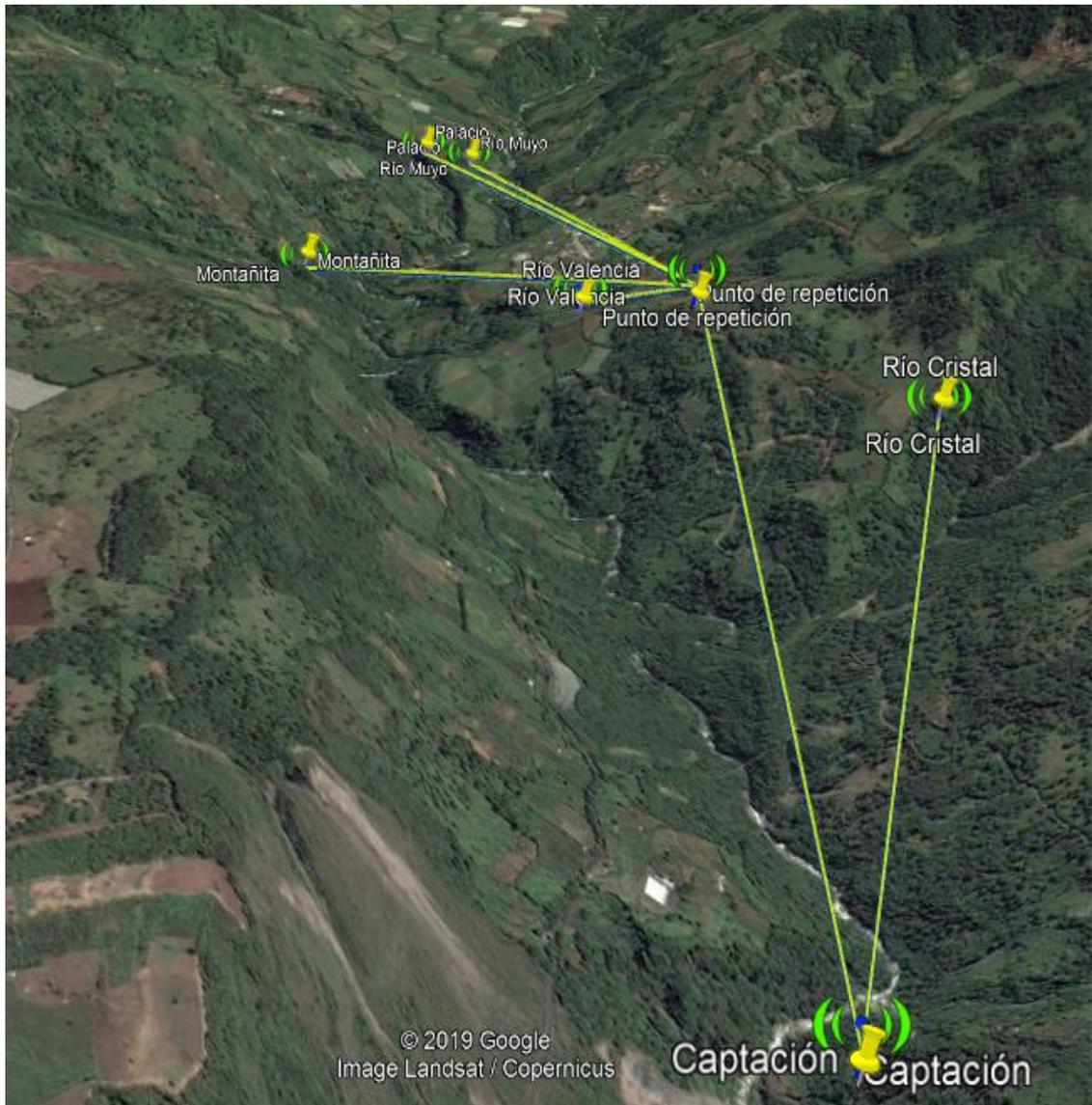


Figura 75. Vista general de radio enlace en software Google Earth.

Elaborado por: El Investigador.

3.5.7. Presupuesto del sistema de monitoreo de la cuenca hidrológica del Río Muyo

Tabla 30. Presupuesto del sistema no monitoreo de la cuenca hidrológica del Río Muyo.

Ítem	Descripción	Cantidad	Valor unitario	Valor total
1	Kit de alimentación (panel solar fotovoltaico, batería y controlador) incluye estructura.	7	\$750	\$ 5250
2	Equipos para enlace punto a multipunto (adaptador POE, patch cord, radio AP, antena AP)	2	\$ 917.5	\$ 1835
3	Pararrayos	7	\$ 90	\$ 630
4	Puesta a tierra de antena	7	\$ 120	\$ 840
5	Cable UTP 305 metros	3	\$ 88	\$ 264
6	Cámaras de domo externa de 2mega pixeles.	7	\$ 1100	\$ 7700
7	Router CPE de Exterior 5GHz 300Mbps 13dBi	7	\$ 65	\$ 455
			Total:	\$ 16974

Elaborado por: El Investigador.

3.6. Sistema de control automático y monitorización del sistema de captación de agua de la central hidroeléctrica Río Verde Chico.

3.6.1. Requerimientos técnicos del sistema de control automático y monitorización del sistema de captación de agua de la central hidroeléctrica Río Verde Chico.

Se adjunta una lista de requerimientos técnicos para el control automático del sistema de captación de agua de la Central Hidroeléctrica Río Verde Chico.

- Control automático de apertura y cierre de compuerta de purga del tanque Desripador: control motorizado, sensorización de turbidez de agua, nivel de agua y posición on/off de la compuerta, sistema trifásico a 220 V AC.
- Control automático de apertura y cierre de dos compuertas de purga de cámaras desarenadoras para incorporar al sistema trifásico de 220V AC: control motorizado, sensorización de turbidez y nivel de agua, posición on/off de las compuertas.
- Control automático de apertura y cierre de compuerta de purga de tanque de carga para incorporar al sistema trifásico de 220V AC: control motorizado, sensorización de turbidez y nivel de agua, posición on/off de la compuerta.
- SCADA y control de compuertas centralizado en un solo tablero de control.



Figura 76. Gráfica descriptiva del sistema de monitoreo y control de las compuertas de purga de captación de agua.

Elaborado por: El Investigador.

3.6.2. Selección de equipos y tecnología para el monitoreo y control del sistema de captación de agua de la central hidroeléctrica Río Verde Chico.

En la tabla 31 se listan los materiales necesarios para la implementación del monitoreo y control del sistema de captación de agua, la cantidad de los materiales difiere de la implementación total, debido a la existencia de elementos dentro del sistema actual citados en la sección 3.3.5.

Tabla 31. Materiales para el sistema de monitoreo y control.

Ítem	Material	Cantidad
1	PLC	1
2	Motor trifásico	1
3	Finales de carrera	8
4	Sensor de nivel	4
5	Sensor de turbidez de agua	4
6	Luces piloto	10
7	Fuente de alimentación 24V DC	1
8	Pantalla HMI	1
9	Pulsador de paro de emergencia	1

10	Brakers, fusibles, borneros, conectores eléctricos para cables, suministro de cable.	
----	--	--

Elaborado por: El Investigador.

Análisis de PLC

Se realiza un análisis técnico de los PLC más comunes vigentes en el mercado en la tabla 32:

Tabla 32. Análisis técnico de PLC vigentes en el mercado

Parámetros técnicos				VIPA
	Siemens S71200	Schneider PLCM221	Yaskawa MICRO	
Tensión de alimentación	24 VDC	24 VDC	24 VDC	
Rango de tensión admisible	Inferior 20.4 V Superior 28.8 V	Inferior 20.4 V Superior 28.8 V	-----	
Tensión de carga	24VDC nominal 20.4 V a 28.8 V	24VDC nominal 20.4 V a 28.8 V	24VDC nominal 20.4 V a 28.8 V	
Intensidad consumo máx.	1.5A	35A	1.5A	
Reloj en tiempo real	Si	Si	Si	
Entradas digitales	14	9	16	
Tensión de D/I	“0” – 5VDC con 1mA	“0” – 5VDC con 1mA	“0” – 5VDC con 1mA	

	“1” – 15VDC con 2.5Ma	“1” – 15VDC con 2.5mA	“1” – 15VDC con 2.5mA
Salidas digitales	10	9	12
Tensión de salida	“0” – 0.1V o 0.1mA “1 – 20V o 0.5A	“0” – 0.1V o 0.1mA “1 – 20V o 0.5A	“0” – 0.1V o 0.1mA “1 – 20V o 0.5A
Entradas analógicas	2 de 0 a 10V	2 de 0 a 10V	2 de 0 a 10V
Interfaz	Profinet Ethernet	Ethernet UBS RS232- RS485	USB SD CARD 2- PROFINET
Funciones de comunicación	S7, TCP/IP, TCP, UDP	Cliente Modbus TCP, DHCP, Dispositivo esclavo Modbus TCP, Modbus TCP, Ethernet/adaptador IP	3964(R), ASCII, Modbus RTU, Modbus TCP, MPI, Profibus, Profinet, USS Master
Grado de protección ambiental	IP 20	IP 20	IP 20
Temperatura de trabajo	-20 a 60 °C	-25 a 70°C	----
Peso	415g	0.35 kg	-----

Elaborado por: El Investigador, basado en: [72], [73], [74]

Se ha recomendado utilizar el PLC Yaskawa VIPA MICRO, el cual cuenta con 16 entradas digitales, 12 salidas digitales, 2 entradas analógicas y a más de eso se recomienda adquirir 2 módulos de entradas analógicas, con 4 entradas analógicas cada uno. Este PLC puede ser programado con el software libre Spped 7 Studio, a más de eso se puede utilizar para programar el software Siemens Simatic o Siemens TIA PORTAL.

Análisis de motor trifásico

Se realiza un análisis técnico de los motores trifásicos más comunes vigentes en el mercado en la tabla 33:

Tabla 33. Análisis de motores trifásicos

Parámetros técnicos		
	Motor trifásico marca Mec	Motor trifásico serie MS132S-8
Tensión de alimentación	380V	380 V
Potencia	3 HP	3 HP
Corriente	6 A	6 A
Velocidad	750 rpm	750 rpm
Tipo de rotor	Jaula de ardilla	Jaula de ardilla
Protección	IP 55	IP 55
Ventilación	Exterior	Exterior

Elaborado por: El Investigador, basado en: [75], [25]

En el caso del motor trifásico, ambos motores cuentan con la ficha técnica adecuada para el sistema, por lo que se recomienda la adquisición del Motor trifásico serie MS132S-8 por el modelo de la carcasa exterior, este modelo al contar con la caja de revisión de cables al costado, es de más fácil acceso.

Análisis de sensor de nivel

Se realiza un análisis técnico de los sensores de nivel más comunes vigentes en el mercado en la tabla 34:

Tabla 34. Análisis técnico de sensores de nivel vigentes en el mercado

Parámetros técnicos		
	Senso Piezoresistivo Vant PS1	Radar Nivus R-16
Señal de salida	4 a 20 Ma	4 a 20 mA
Equivalencia	1 bar = 10Mwc	4 mA----0.077m 20mA-----16m
Máximo de voltaje aceptable	0 a 10 VDC	28V CC
Rango de presión	1 a 25 bar	-----
Protección	Sumergible	IP68

Elaborado por: El Investigador, basado en: [76], [77]

Se recomienda la adquisición del sensor Radar Nivus R-16, debido a que al no ser sumergible, no presenta riesgo de ensuciarse y por ende perturbar la señal sensada, a más de eso cuenta con una protección IP 68, por lo que es ideal para el clima del sector.

Análisis de sensor de turbidez

Se realiza un análisis técnico de los sensores de turbidez más comunes vigentes en el mercado en la tabla 35:

Tabla 35. Análisis técnico del sensor de turbidez

Parámetros técnicos		
	Sensor de turbidez HACH LXV423.99.00100 modelo: Solitax ts-line sc	Sensor de turbidez HACH LXV324.99.20002
Alcance	Medidor de turbidez y sólidos en suspensión	Medidor de turbidez y sólidos en suspensión
Caudal de muestra	3 m/s	3 m/s
Exactitud	Turbidez hasta 1000 NTU: sin calibración <5 % del valor medido $\pm 0,01$ NTU con calibración <1 % del valor medido $\pm 0,01$ NTU	Turbidez hasta 1000 NTU: < 5 % del valor medido $\pm 0,01$ NTU
Intervalo de mantenimiento	1h/mes	1h/mes
Protección	Sumergible	IP68
Peso	1.38 kg	1.6 kg
Rango de medición	Contenido de TSS: 0.001 - 50 g/L; 0.001 - 50,000 mg/L Turbidez: 0.001 - 4000 NTU	Turbidez (TRB): 0.001 - 9999 NTU Sólidos (TSS): 0.001 - 500 g/L

Rango de presión	6 bares o 60 m PVC: 1 bar o 10 m	< 6 bar or < 60 m ≤ 6 bares
Rango de temperatura	0 – 40 °C	0 – 50 °C
Rasqueta de limpieza automática	Si	Si
Señal de salida	0 a 4 Ma	0 a 4 mA

Elaborado por: El Investigador, basado en: [78], [79]

Se recomienda la adquisición de Sensor de turbidez HACH LXV324.99.20002, debido a que su protección IP 68 indica que es sumergible, el rango de medición de turbidez es mayor desde 0.001 hasta 9999 NTU en comparación con el otro modelo y a más de eso posee rasqueta de limpieza automática y compensación de medida por presencia de burbujas de agua, lo que ayuda a que el valor medido no tenga fallas.

Análisis de Fuente de alimentación

Se realiza un análisis técnico de las fuentes de alimentación más comunes vigentes en el mercado en la tabla 36:

Tabla 36. Análisis técnico de fuentes de alimentación.

Parámetros técnicos		
	Fuente MEAN WELL MDR-60-24	FullWat Fus-150D-24

Señal de salida	24 V DC	24 V DC
Corriente de salida	0 - 2.5 A	6.25 A
Potencia de salida	60 W	-----
Tolerancia	±1%	±1%
Rango de voltaje de entrada	85 – 264 V AC 120 – 370 VDC	Seleccionable: 90-132 VAC O 180 – 264 VAC 220 – 380 VDC

Elaborado por: El Investigador, basado en: [80], [81]

El modelo de fuente de alimentación que se recomienda adquirir para el proyecto, es FullWat Fus-150D-24, debido a que posee la funcionalidad de escoger el voltaje de entrada haciendo que sea adaptable a cualquier condición eléctrica.

Análisis de Panel HMI

Se realiza un análisis técnico del panel HMI más comunes vigentes en el mercado en la tabla 37:

Tabla 37. Análisis técnico de paneles HMI vigente en el mercado.

Parámetros técnicos			
	SIMATIC HMI KTP400 BASIC PN	Schneider PLCM221	HMI Yaskawa H41- 71A41-0
Tamaño del display	4”	4”	4.3 “

Resolución	480x272	480x272	480x272
Interfaces	Profinet	RS232/485, USB, Ethernet	RS232/485, USB, Ethernet
Protección	Frontal IP 65 Posterior IP 20	Frontal IP 65 Posterior IP 20	Frontal IP 66 Posterior IP 20
Voltaje	24 V DC	24 V DC	13 – 30 V DC

Elaborado por: El Investigador, basado en: [82], [83], [84]

El panel que se recomienda utilizar en el proyecto es el HMI Yaskawa H41-71A41-0, por motivo de compatibilidad de tecnología ya que se ha escogido el PLC Yaskawa. Otro punto favorable es el rango de voltaje de alimentación admisible y las interfaces de comunicación que posee.

Análisis de botón de paro de emergencia

Se realiza un análisis técnico de las características que debe tener el botón de paro de emergencia en la tabla 38:

Tabla 38. Análisis técnico de botón de paro de emergencia.

Parámetros técnicos	
	Botón de paro de emergencia Schneider XB4BS8442
Diámetro	22 mm
Tipo de contacto	1 NC

Durabilidad mecánica	300000 ciclos
Durabilidad mecánica	1000000 ciclos, AC-15, 2 A at 230 V 1000000 ciclos, AC-15, 3 A at 120 V 1000000 ciclos, AC-15, 4 A at 24 V 1000000 ciclos, DC-13, 0.2 A at 110 V 1000000 ciclos, DC-13, 0.5 A at 24 V
Protección	IP 67

Elaborado por: El Investigador, basado en: [85]

Se adjunta las condiciones técnicas que debe poseer este elemento para la realización del proyecto, es indiferente la marca del elemento, mientras cumpla con los requisitos técnicos básicos descritos en la tabla anterior.

Análisis de final de carrera

Se realiza un análisis técnico de las características que debe tener el final de carrera en la tabla 39:

Tabla 39. Análisis técnico de final de carrera.

Parámetros técnicos	
	Final de carrera, Pulsador con roldana Carlo Gavazzi
Voltaje	24VDC – 2.8 A 110VDC – 0.6 A

	250VDC – 0.27A
Tipo de contacto	1 NO 1 NC
Máximos ciclos/hora	3600 ciclos
Mínimo toque	0.32Nm
Protección	IP 66

Elaborado por: El Investigador, basado en: [86]

Se recomienda adquirir estos elementos de acuerdo a los parámetros técnicos descritos en la tabla anterior, indiferentemente de la marca, se dan los lineamientos básicos de adquisición.

Análisis de luces piloto

Se realiza un análisis técnico de las características que debe tener las luces piloto en la tabla 40:

Tabla 40. Análisis técnico de luces piloto.

Parámetros técnicos	
	Luces piloto 24 V DC/AC Schneider electric
Voltaje	24VDC
Consumo de corriente	18mA
Diámetro	22mm

Peso	0.08kg
Fuente de luz	Led integrado
Protección	IP 66

Elaborado por: El Investigador, basado en: [87]

Se recomienda adquirir estos elementos de acuerdo a los parámetros técnicos descritos en la tabla anterior, indistintamente de la marca, se dan los lineamientos básicos de adquisición.

3.6.3. Diseño del monitoreo y control del sistema de captación de agua de la central hidroeléctrica Río Verde Chico.

Se presenta el programa diseñado en el software TIA PORTAL para el manejo de las compuertas de purga del sistema de captación de agua de la central hidroeléctrica Río Verde Chico.

Método main:

En la siguiente figura, se muestra el método principal, donde se llama a los bloques programados para el control de cada compuerta, de esta manera, el programa es ordenado y eficiente.

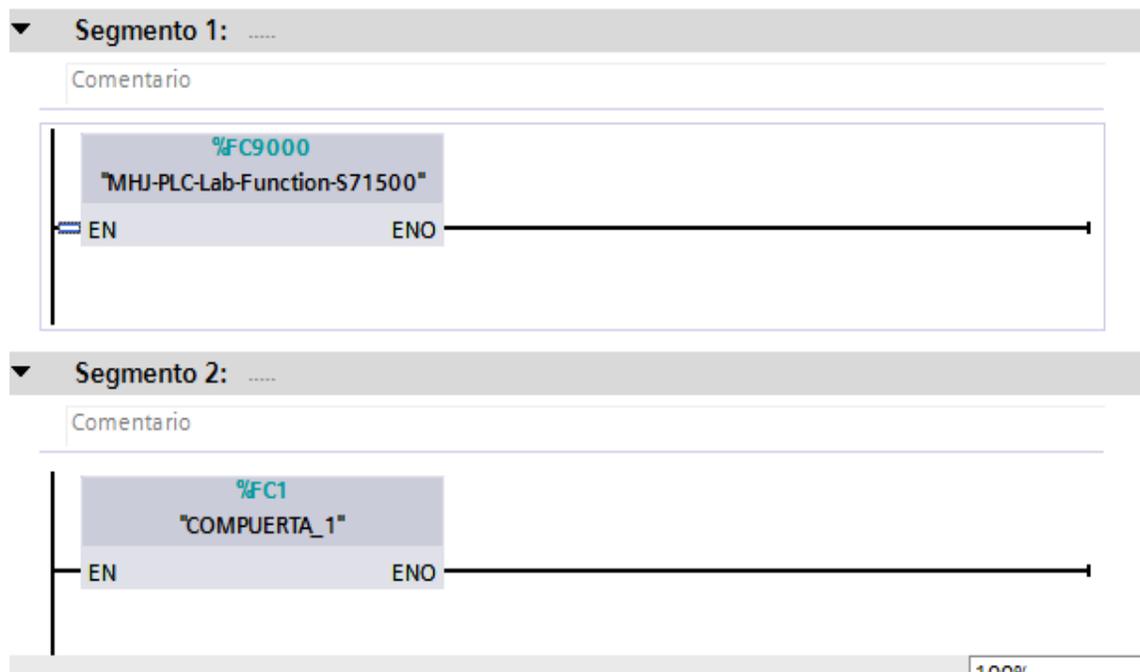


Figura 77. Método main

Elaborado por: El Investigador.

Todas las compuertas se han configurado de manera similar, debido a que todas cumplen con la misma función de evacuar los sedimentos decantados por los diferentes tanques del sistema, la única diferencia radica en el nivel de agua y el nivel de partículas por millón medidos por los sensores. Se presentan los bloques de programación que describe el funcionamiento de las compuertas en las siguientes figuras:

Bloques de programa de compuertas.

Segmento 1: inicio, paro de emergencia y rangos.

En la primera línea de programación, se configura el inicio de la rutina, se inicia el funcionamiento de la compuerta con su respectiva marca indicativa.

En la segunda línea de programación se muestra el comando de paro de emergencia, ya que si existe un mal funcionamiento del programa, se puede parar para evitar daños.

La tercera línea de programación, sirve para el tiempo de apertura de la compuerta y lo almacena en una memoria para poder visualizarlo en el HMI.

La cuarta línea de programación, muestra el nivel mínimo del tanque desarenador, desripiador o de carga, dependiendo la compuerta que se analice.

La quinta línea de programación, sirve para el nivel mínimo de turbidez que puede ser medido en el tanque.

La sexta línea de programación, está dedicada al control de la turbidez máxima del tanque.

La séptima línea de programación, en cambio, es una marca para el nivel mínimo aceptable de agua para el funcionamiento normal del sistema.

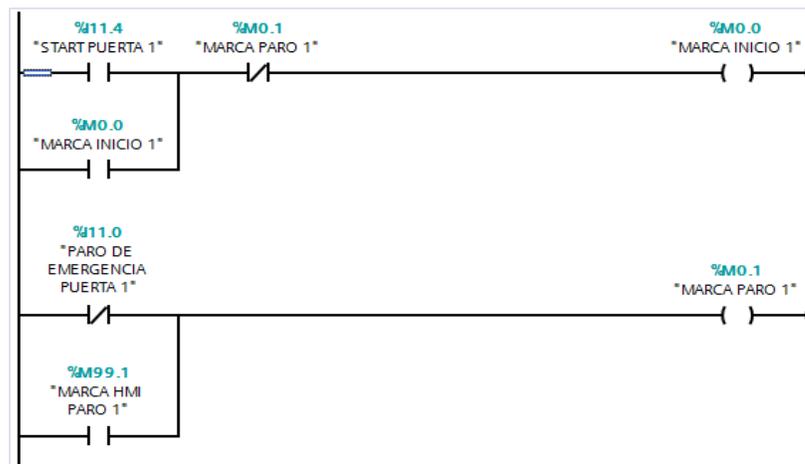


Figura 78. Inicio, paro de emergencia.

Elaborado por: El Investigador.

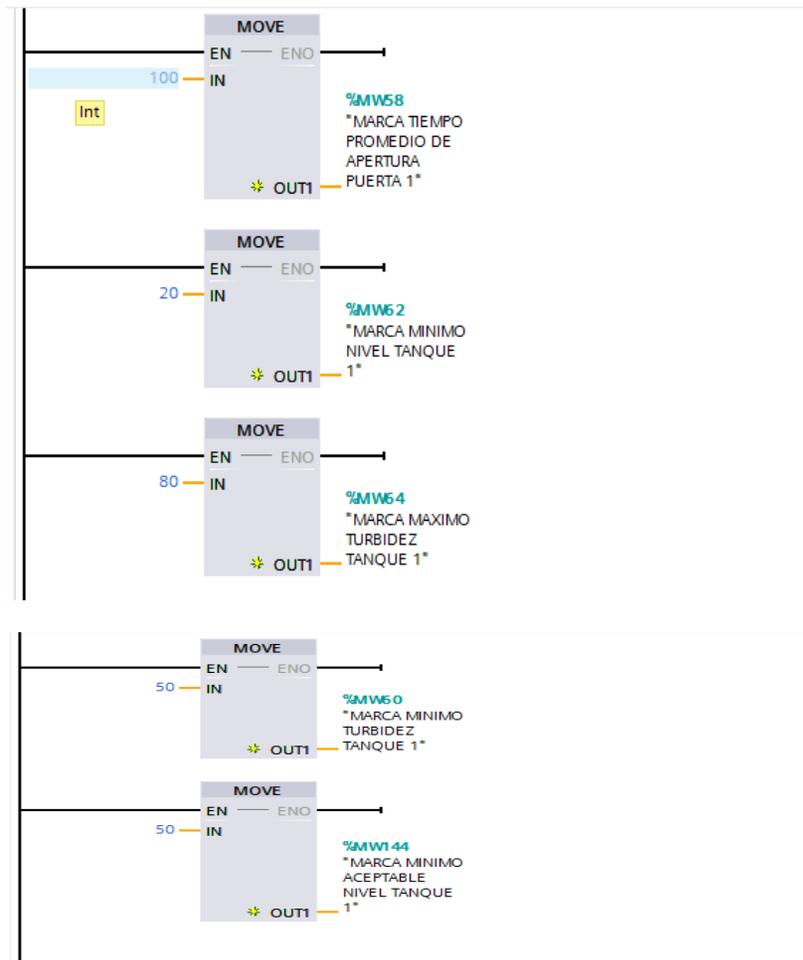


Figura 79. Rangos de nivel de los sensores

Elaborado por: El Investigador.

Segmento 2: accionamiento del motor.

En este segmento se muestra el accionamiento del motor encargado de la compuerta de purga. Se tiene el giro hacia la derecha para abrir la compuerta y hacia la izquierda para cerrar la compuerta.



Figura 80. Accionamiento del motor.

Elaborado por: El Investigador.

Segmento 3: normalización y linealización de sensores.

En esta sección se realiza la normalización y escalamiento de los sensores de nivel y turbidez.

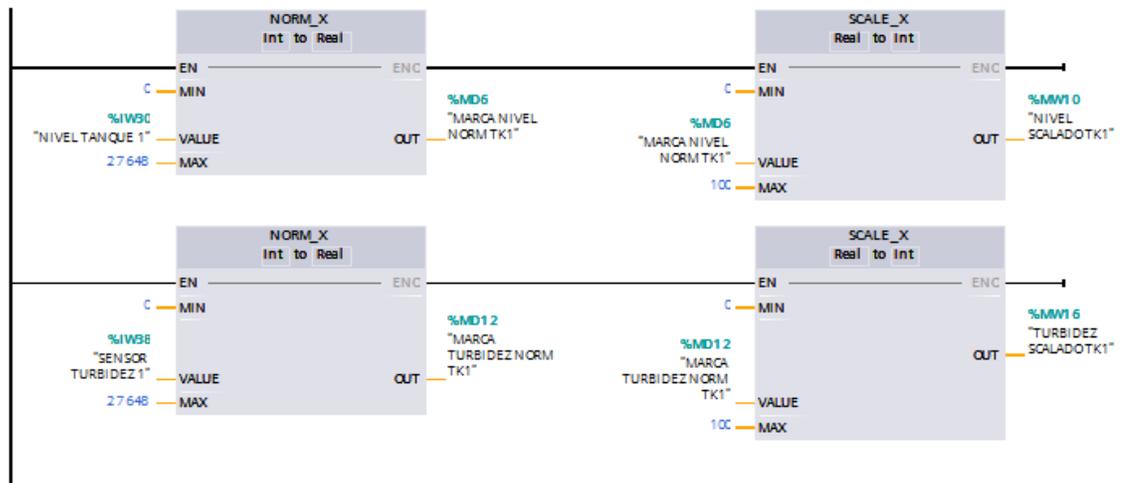


Figura 81. Normalización y linealización de sensores.

Elaborado por: El Investigador.

Segmento 4: rangos de sensores.

En esta sección se tiene el control de apertura y cierre de acuerdo a los rangos de medición de los sensores. Las condiciones son:

- Si el nivel del tanque es menor o igual a la marca de nivel mínimo, acciona un permiso que inicia el motor para cerrar la compuerta y alcanzar el nivel mínimo aceptable de agua en el tanque.
- Si el valor medido de turbidez es mayor o igual a la marca máxima de turbidez, acciona el motor para abrir la compuerta y evacuar los sedimentos del tanque.
- Si el valor medido de turbidez es menor o igual a la marca mínima de turbidez, se acciona el motor para cerrar la compuerta y continuar con el funcionamiento normal del sistema.

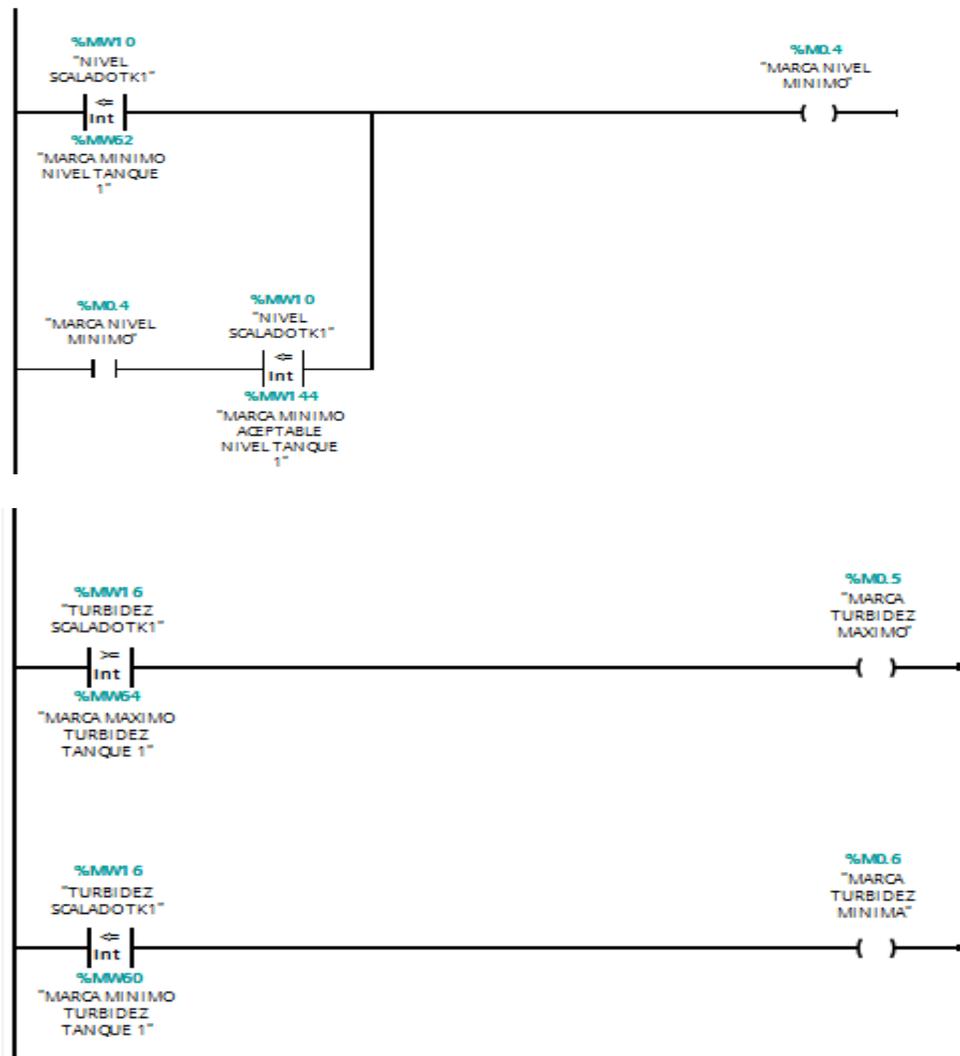


Figura 82. Rango de sensores.

Elaborado por: El Investigador.

Segmento 5: derecha o izquierda motor.

En esta sección la marca de turbidez máxima acciona el motor para abrir la compuerta, y la marca de nivel mínimo es un permisivo que cierra la compuerta para no afectar al sistema de captación de agua y por ende el funcionamiento adecuado de los generadores.

La marca de nivel mínimo o la marca de turbidez mínima, acciona el motor para que se cierre la compuerta de purga, hasta que el final de carrera indique que la compuerta está totalmente cerrada.

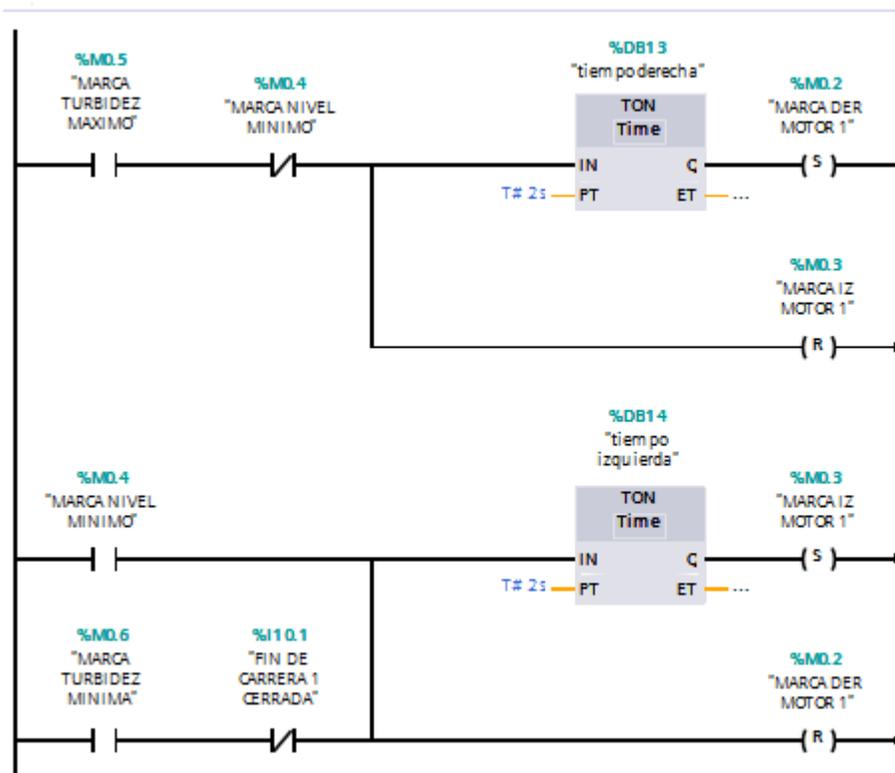


Figura 83. Giro del motor derecha o izquierda.

Elaborado por: El Investigador.

Segmento 6: finales de carrera.

En este segmento está el control de los finales de carrera, los contactos de estos sensores, indican si la compuerta está abierta o cerrada.

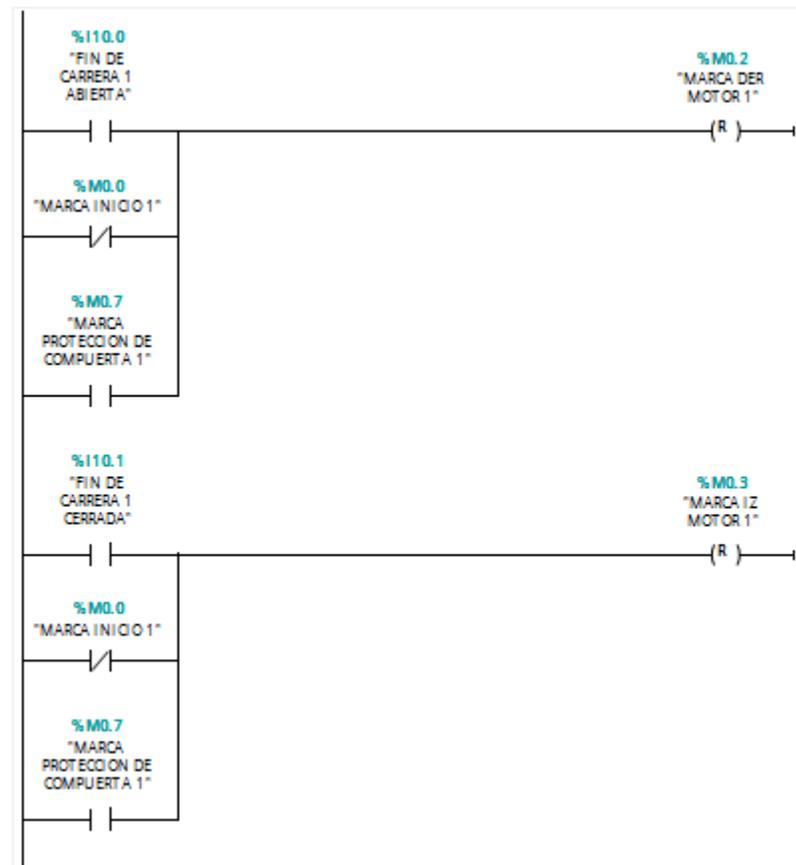


Figura 84. Finales de carrera.

Elaborado por: El Investigador.

Segmento 7: Porcentajes de apertura de compuertas.

En esta sección de la programación, se ha configurado la visualización de los porcentajes de apertura de la compuerta en base a contadores de tiempo, todo con el objetivo de poder visualizar en el SCADA.

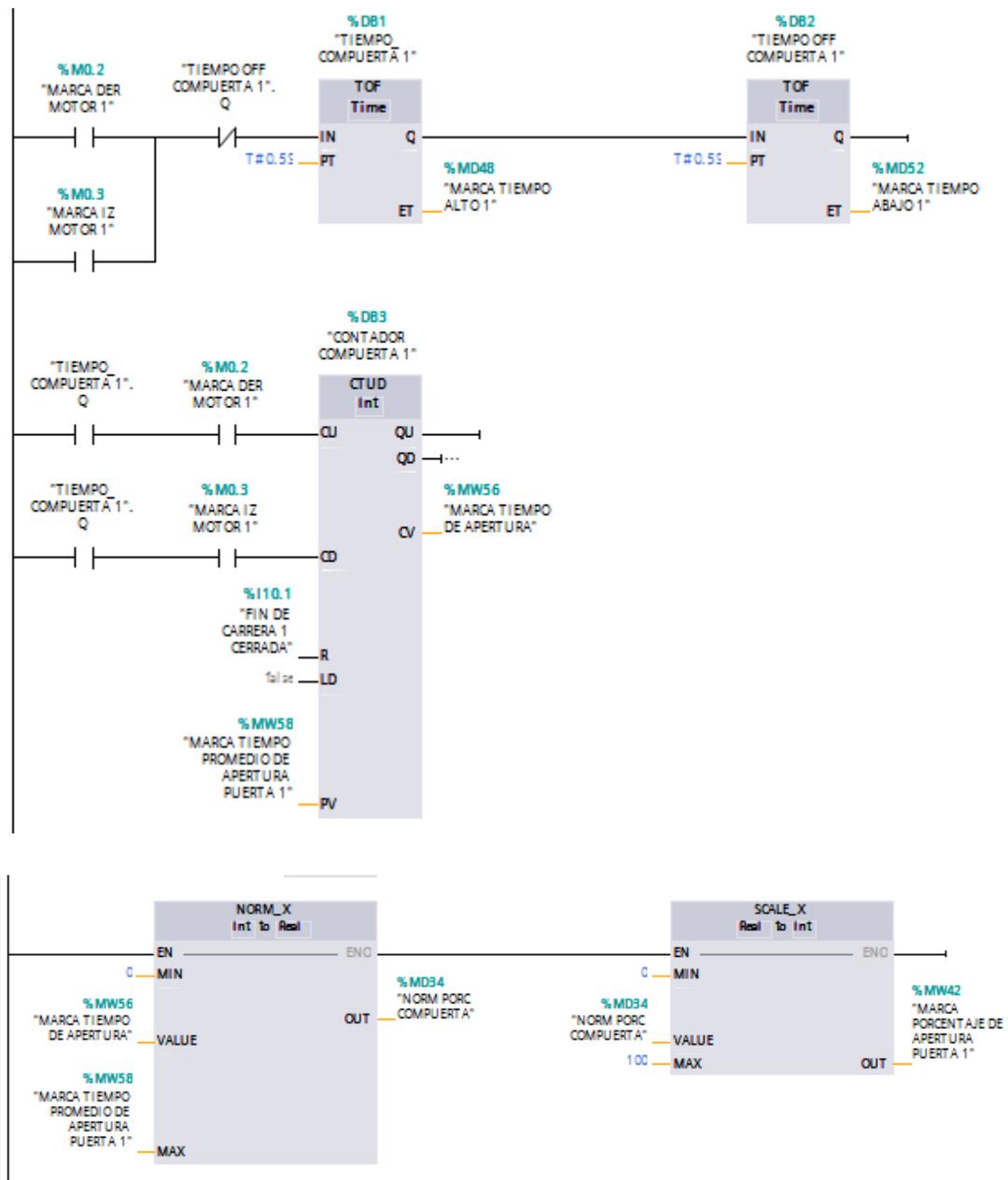


Figura 85. Porcentaje de apertura de compuertas.

Elaborado por: El Investigador.

Segmento 8: indicadores de estado.

En esta sección de la programación, se han configurado salidas encargadas de mostrar los estados de la compuerta, se tiene un indicador de inicio, de apertura, de cierre, e indicadores de estado abierto y cerrado de la compuerta.

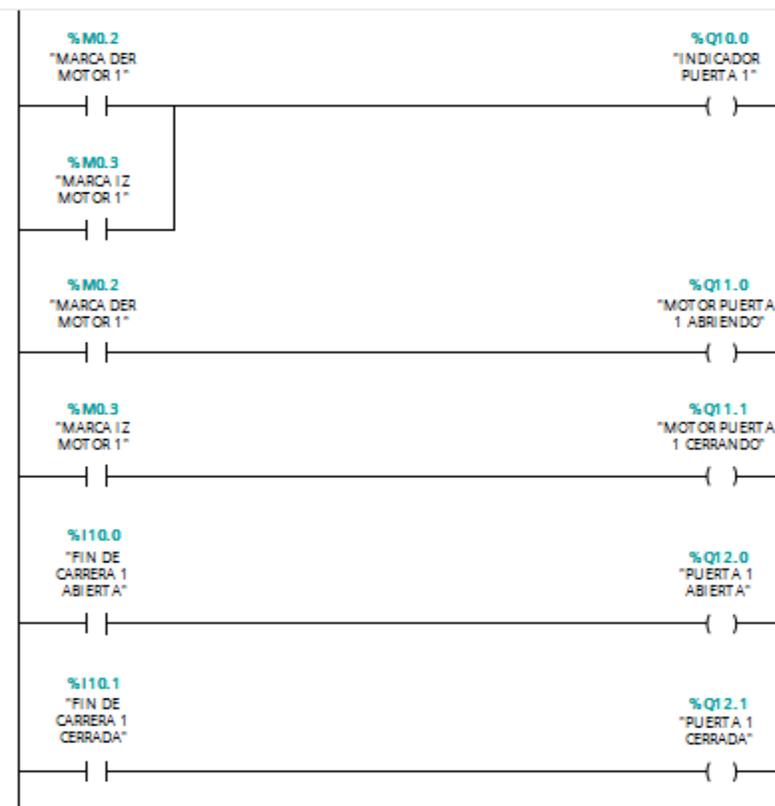
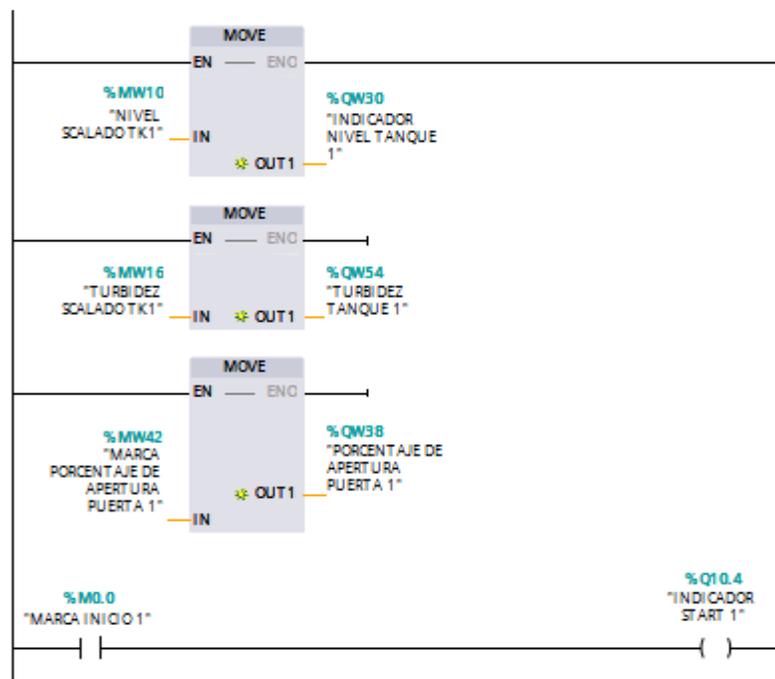


Figura 86. Indicadores de estado.

Elaborado por: El Investigador.

Segmento 9: apertura de la compuerta.

En esta sección de la programación, se tiene la normalización y escalamiento de la apertura de la compuerta.

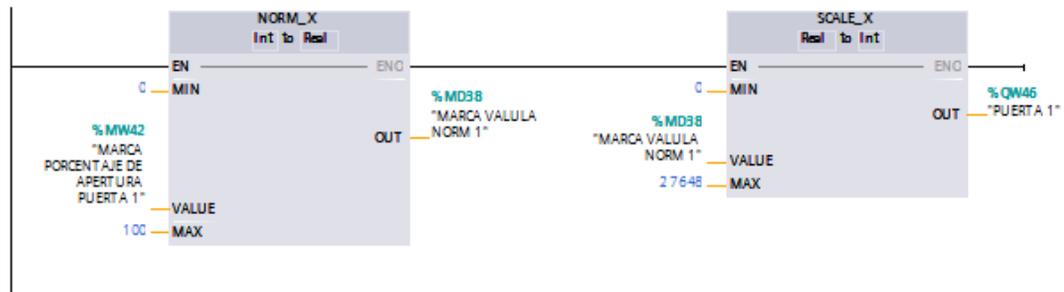


Figura 87. Apertura de la compuerta.

Elaborado por: El Investigador.

Segmento 10: protecciones del sistema.

Se han configurado protecciones para el sistema, los finales de carrera son protecciones importantes mediante la señal de las cuales las compuertas detendrán su trabajo, con el objetivo de no vulnerar los equipos mecánicos del sistema ni forzar los motores.

Se ha configurado también una protección de giro del motor, es decir, que mientras el motor esté girando a la derecha, no podrá girar hacia la izquierda a menos que haya transcurrido un tiempo de 2 seg.

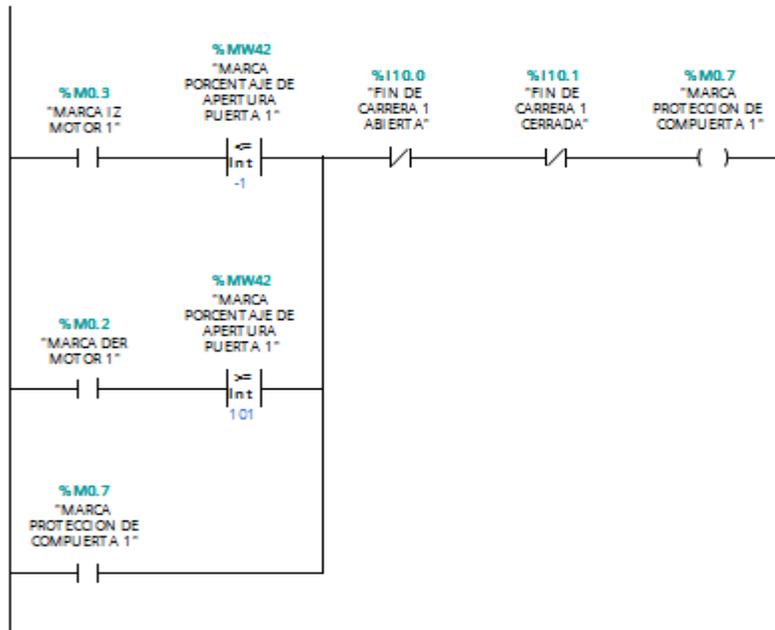


Figura 88. Protecciones del sistema.

Elaborado por: El Investigador.

Segmento 11: arranque estrella triángulo.

En esta sección se tiene un bloque funcional que permite el arranque estrella triángulo del motor, haciendo un llamado a la programación de arranque estrella triángulo configurada en otro segmento de programación.

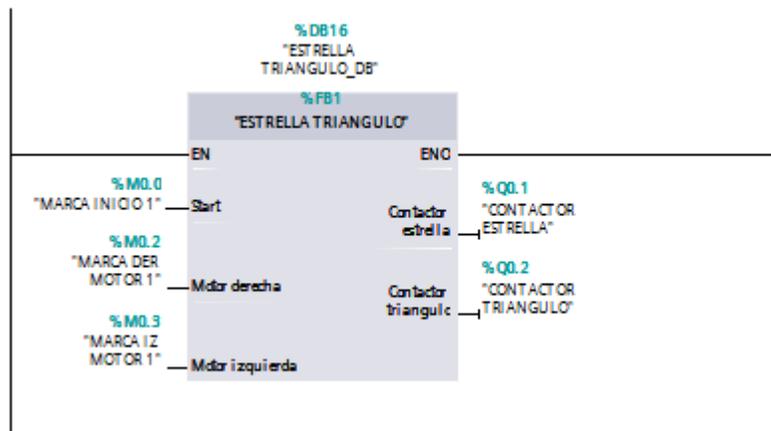


Figura 89. Bloque de arranque estrella triángulo.

Elaborado por: El Investigador.

Bloque de programa estrella triángulo:

Segmento1:

En este segmento se ha configurado el arranque estrella triángulo de motor en base a la señal de giro, ya sea a la derecha o izquierda, activará el arranque del motor.

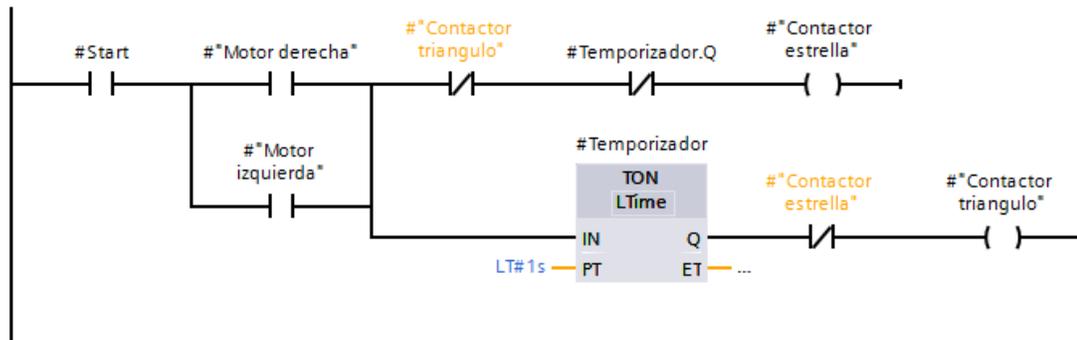


Figura 90. Arranque estrella triángulo.

Elaborado por: El Investigador.

3.6.4. Elaboración de un sistema SCADA de monitoreo de variables en tiempo real.

La siguiente imagen muestra la escena de la simulación elaborada en Factory IO, mediante el cual se representa el escenario real de las compuertas con los tanques de agua. El primer tanque representa al desripador, los tanques 2 y 3 representan a los desarenadores y el tanque 4 representa al tanque de carga. Cada una de las compuertas son las encargadas de evacuar los sedimentos sólidos decantados del agua hacia el lecho del río.



Figura 91. Escenario Factory IO.

Elaborado por: El Investigador.

La siguiente figura representa los mandos físicos de las compuertas, el pulsador de encendido, paro de emergencia, se ha representado mediante potenciómetros los parámetros de turbidez de agua, a más de eso se ha colocado botones que hagan la función de finales de carrera, debido a que este programa no permite incorporar más sensores, se los ha forzado de manera similar y a pesar de ser manual, cumplen con la función representativa.



Figura 92. Mandos de las compuertas.

Elaborado por: El Investigador.

A continuación se presenta la pantalla SCADA diseñada para el monitoreo del sistema, la cual cuenta con todos los parámetros que son necesarios de visualizar y controlar, a más de eso se tiene el control de usuarios, quienes de acuerdo al nivel pueden realizar diferentes acciones, se describe a continuación:

- Ingeniería
- Operario.

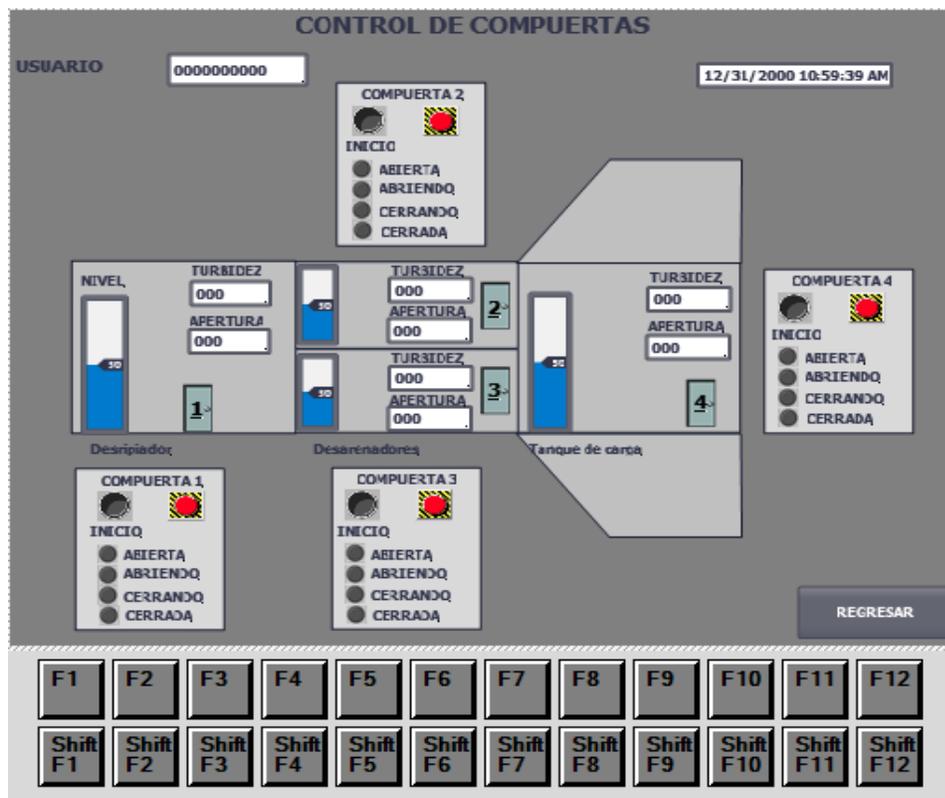


Figura 93. Pantalla SCADA del sistema de monitoreo y control.

Elaborado por: El Investigador.

La siguiente imagen es la pantalla de inicio al sistema SCADA, esta pantalla requiere de la autenticación del usuario que va a controlar el sistema.

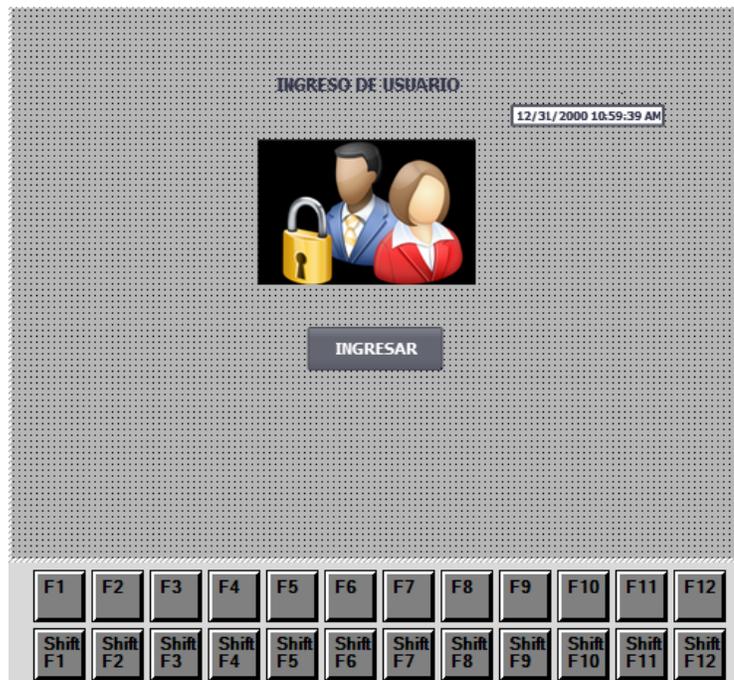


Figura 94. Pantalla de inicio de sesión.

Elaborado por: El Investigador.

En la siguiente figura se muestra la lista de usuarios configurada en el sistema.

Usuarios					
	Nombre	Contraseña	Cierre de sesión autom..	Tiempo de cierre de sesió	Número
	Administrador	*****	<input checked="" type="checkbox"/>	5	1
	Operario	*****	<input checked="" type="checkbox"/>	5	2
	Ingenieria	*****	<input checked="" type="checkbox"/>	5	3
	Usuario	*****	<input checked="" type="checkbox"/>	5	4
	<Agregar>				

Figura 95. Lista de usuarios.

Elaborado por: El Investigador.

Los diagramas de fuerza se los ha realizado en el programa CADESIMU, con el objetivo de representar la manera de conectar la parte de fuerza de los motores de las compuertas. Y se presentan en la siguiente figura.

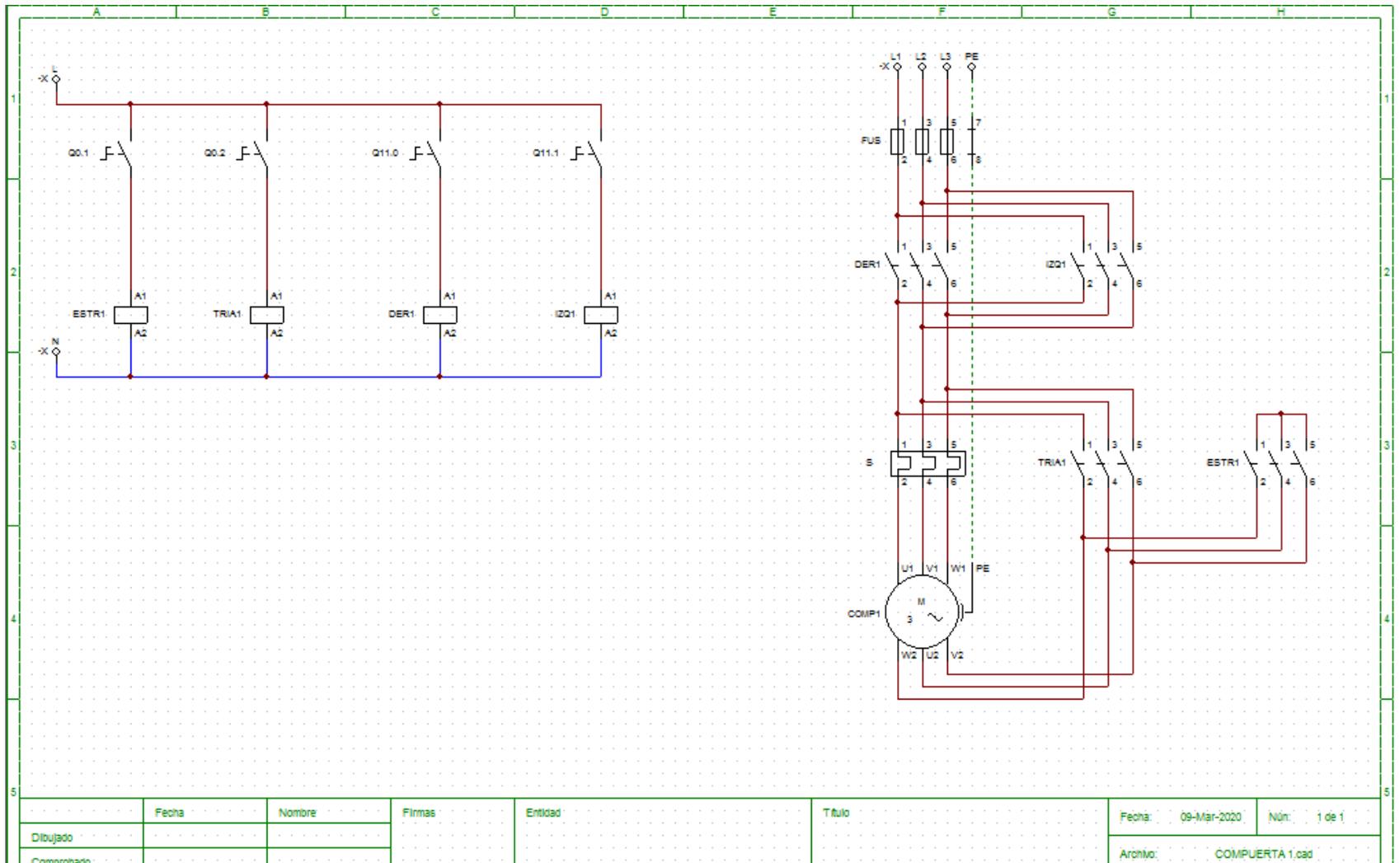


Figura 96. Diagrama de fuerza para la compuerta de purga.

Elaborado por: El Investigador.

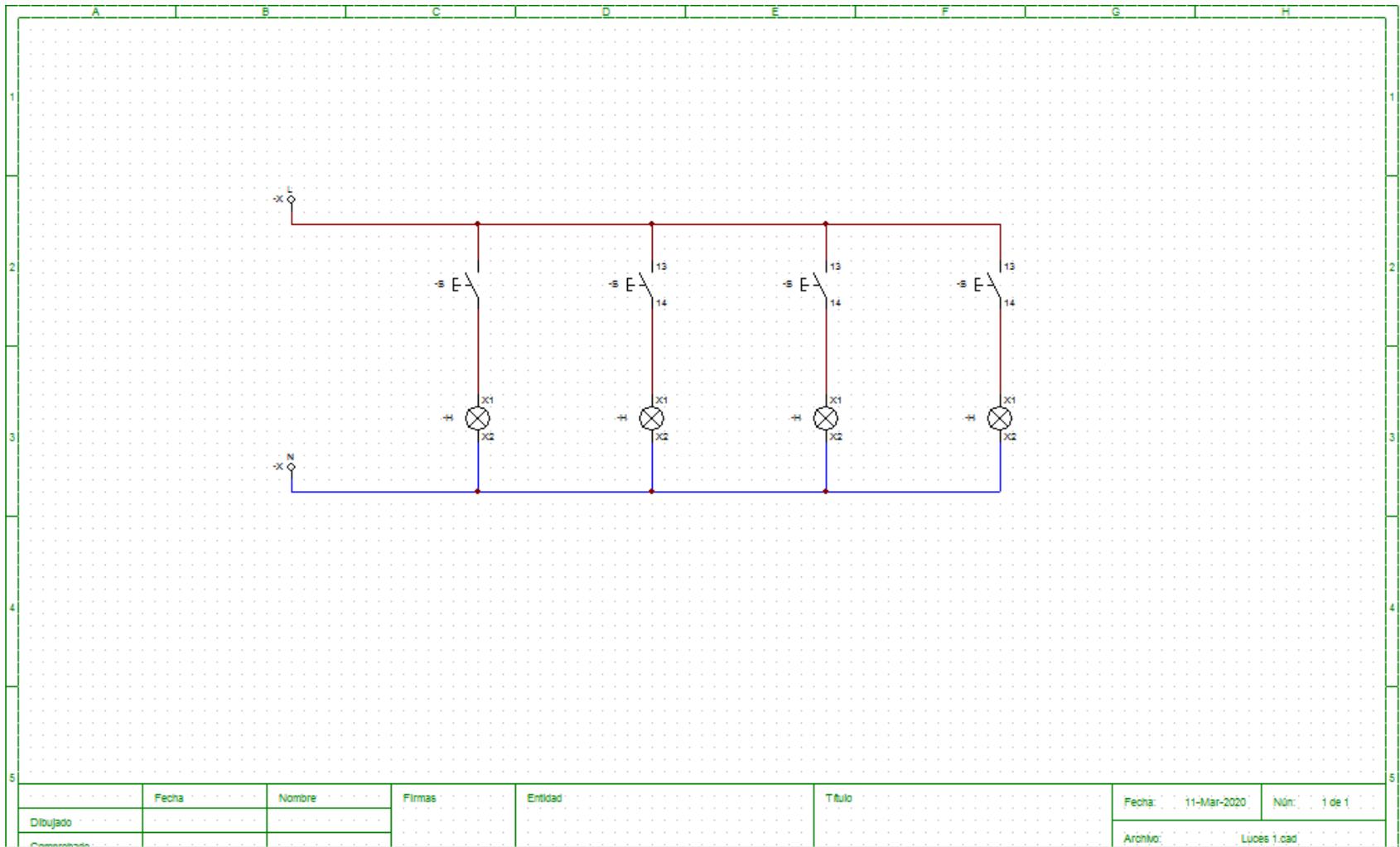


Figura 97. Diagrama de fuerza de luces piloto.

Elaborado por: El Investigador.

3.6.5. Presupuesto del sistema de monitoreo y control del sistema de captación de agua de la central hidroeléctrica Río Verde Chico.

Tabla 41. Presupuesto del sistema de monitoreo y control del sistema de captación de agua de la central hidroeléctrica Río Verde Chico.

Ítem	Material	Unidad	Cantidad	Valor unitario	Valor total
1	PLC	c/u	1	\$ 350	\$ 350
2	Módulos de entradas analógicas	c/u	2	\$ 98.71	\$ 197.42
3	Motor trifásico	c/u	1	\$ 513	\$ 513
4	Finales de carrera	c/u	8	\$ 10	\$ 80
5	Sensor de nivel	c/u	4	\$ 550	\$ 2200
6	Sensor de turbidez de agua	c/u	4	\$ 710	\$ 2840
7	Luces piloto	c/u	10	\$ 2.5	\$ 25
8	Fuente de alimentación 24V DC	c/u	1	\$ 69.78	\$ 69.78
9	Pantalla HMI	c/u	1	\$ 726	\$ 726
10	Pulsador de paro de emergencia	c/u	1	\$ 4	\$ 4
11	Brakers	c/u	5	\$ 4.85	\$ 24.25
	Fusibles	c/u	15	\$ 1.2	\$ 18
12	Porta fusibles riel din	c/u	15	\$ 6.78	\$ 101.7
13	Suministro de cable #14, 100 metros	c/u	5	\$ 23.7	\$ 118.5
14	Suministro: borneros, conectores eléctricos para cables.	Paquete	4	\$ 75	\$ 300
				Total	\$ 7567.65

Elaborado por: El Investigador.

3.7. Implementación del prototipo de monitoreo y control para el sistema de captación de agua.

A continuación se presentan las figuras que corresponden a la maqueta del prototipo de monitoreo y control para el sistema de captación de agua de la central hidroeléctrica Río Verde Chico. La maqueta corresponde a un modelo a escala del sistema de captación de agua, en la figura 98 se muestra la rejilla de ingreso de agua en la sección 1, el tanque desripador en la sección 2, los desarenadores en la sección 3 y el tanque de carga en la sección 4.



Figura 98. Prototipo de monitoreo y control del sistema de captación de agua.

Elaborado por: El Investigador.



Figura 99. Prototipo de monitoreo y control del sistema de captación de agua con agua turbia.

Elaborado por: El Investigador.



Figura 100. Prototipo de monitoreo y control del sistema de captación de agua, en el Río Verde Chico.

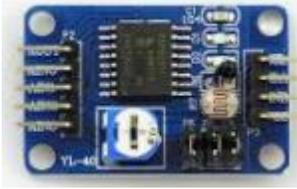
Elaborado por: El Investigador.

3.7.2. Diagrama de conexiones

En la figura 101 se muestra el esquema de conexiones del prototipo de monitoreo y control para el sistema de captación de agua, y corresponde al control de apertura y cierre de las compuertas de purga de cada tanque del sistema, en base a parámetros de nivel de agua y turbidez de agua. En las tablas 42 y 43 se exponen los materiales que se han ocupado.

Tabla 42. Materiales de procesamiento de datos y señales para el prototipo de monitoreo y control.

Elemento	Descripción	Figura del elemento
Raspberri Pi 3 modelo B	Procesamiento de señales	

PCF-8591	Convertor AD/DA	
PCF-8574	Expansor de entradas y salidas	

Elaborado por: El Investigador.

En la siguiente tabla se muestra las señales configuradas para el monitoreo y control de apertura de las compuertas de purga y el elemento electrónico utilizado para dicho proceso.

Tabla 43. Materiales electrónicos para el monitoreo y control de cada compuerta de purga.

COMPUERTA PURGA			
Tipo de señal	Dispositivo utilizado	Descripción de señal	Figura del elemento
On	Pulsador	Entrada digital	
Off	Pulsador	Entrada digital	
Abierto	Led verde	Salida digital	
Abriendo	Led azul	Salida digital	

Cerrando	Led naranja	Salida digital	
Cerrado	Led rojo	Salida digital	
Nivel de agua	Sensor ultrasónico	Entrada digital	
Turbidez de agua	Sensor turbidez	Entrada analoga	
Señal de cerrado	Final de carrera	Entrada digital	
Señal de abierto	Final de carrera	Entrada digital	

Elaborado por: El Investigador.

La Raspberry Pi 3 cuenta con cuarenta pines de configuración de los cuales diecinueve corresponden a puertos GPIO, se utilizó el PCF-8574 que es un expansor de entradas y salidas, en este caso se lo configuró para las salidas de los leds indicadores del estado de las compuertas. Cada compuerta cuenta con cuatro leds indicadores de estado.

De igual manera la raspberry Pi 3, no cuenta con entradas analógicas y los sensores de turbidez son análogos con salida de 0 a 5 voltios, es por eso que se ha utilizado el módulo conversor AD/DA PCF-8591.

Se tiene un total de dieciocho entradas digitales, cuatro entradas analógicas, y ocho salidas digitales.

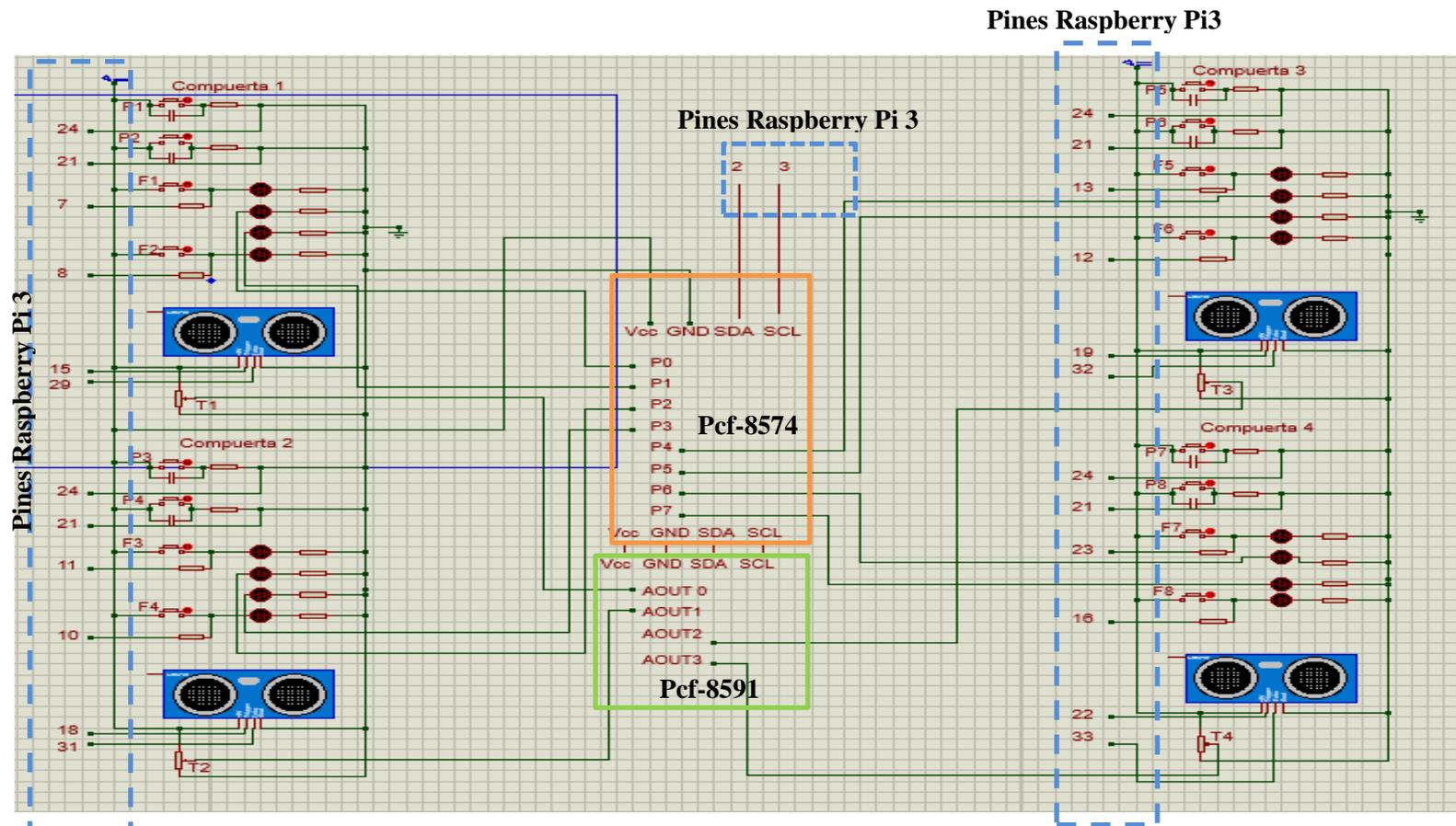


Figura 101. Diagrama de conexiones de monitoreo y control del sistema de captación de agua, en el Río Verde Chico.

Elaborado por: El Investigador.

3.7.3. Instalación de paquetes mqtt y node red para raspbian

Instalacion del broker mqtt

```
sudo wget http://repo.mosquitto.org/debian/mosquitto-repo.gpg.key
```

```
sudo apt-key add mosquitto-repo.gpg.key
```

```
cd /etc/apt/sources.list.d/
```

```
sudo wget http://repo.mosquitto.org/debian/mosquitto-jessie.list
```

```
sudo wget http://repo.mosquitto.org/debian/mosquitto-stretch.list
```

```
sudo wget http://repo.mosquitto.org/debian/mosquitto-buster.list
```

```
sudo -i
```

```
apt-get update
```

```
apt-get install mosquitto
```

```
apt-get install mosquitto-clients
```

Intalar libreria Paho mqtt

```
pip install --user paho-mqtt
```

Node -red

```
bash <(curl -sL https://raw.githubusercontent.com/node-red/raspbian-deb-package/master/resources/update-nodejs-and-nodered)
```

```

Node-RED update
Running Node-RED update for user pi at /home/pi on raspbian\n
This can take 20-30 minutes on the slower Pi versions - please wait.

Stop Node-RED
Remove old version of Node-RED
Remove old version of Node.js
Install Node.js LTS Node v10.22.1 Npm 6.14.8
Clean npm cache
Install Node-RED core
Move global nodes to local
Install extra Pi nodes
Npm rebuild existing nodes
Add shortcut commands
Update systemd script

Any errors will be logged to /var/log/nodered-install.log

```

Figura 102. Instalación y configuración Nod-Red

Elaborado por: El Investigador.

node-red-start

sudo systemctl enable nodered.service

http://IP_Add:1880

3.7.4. Condiciones de funcionamiento de la maqueta

Tabla 44 Valores configurados de turbidez y nivel de agua para simulación

	Min. simulación	Max. simulación	Min. Maqueta	Max. maqueta
Distancia	20 %	50 %	5cm	-
Turbidez	50 %	80 %	500 NTU	100 NTU

Elaborado por: El Investigador.

Tabla 45 Condiciones de apertura y cierre de compuertas.

	Condiciones
Abrir compuerta	$D > D_{min} \ \&\& \ T > T_{max}$
Cerrar compuerta	$D < D_{min} \ \ T < T_{min}$

Elaborado por: El Investigador.

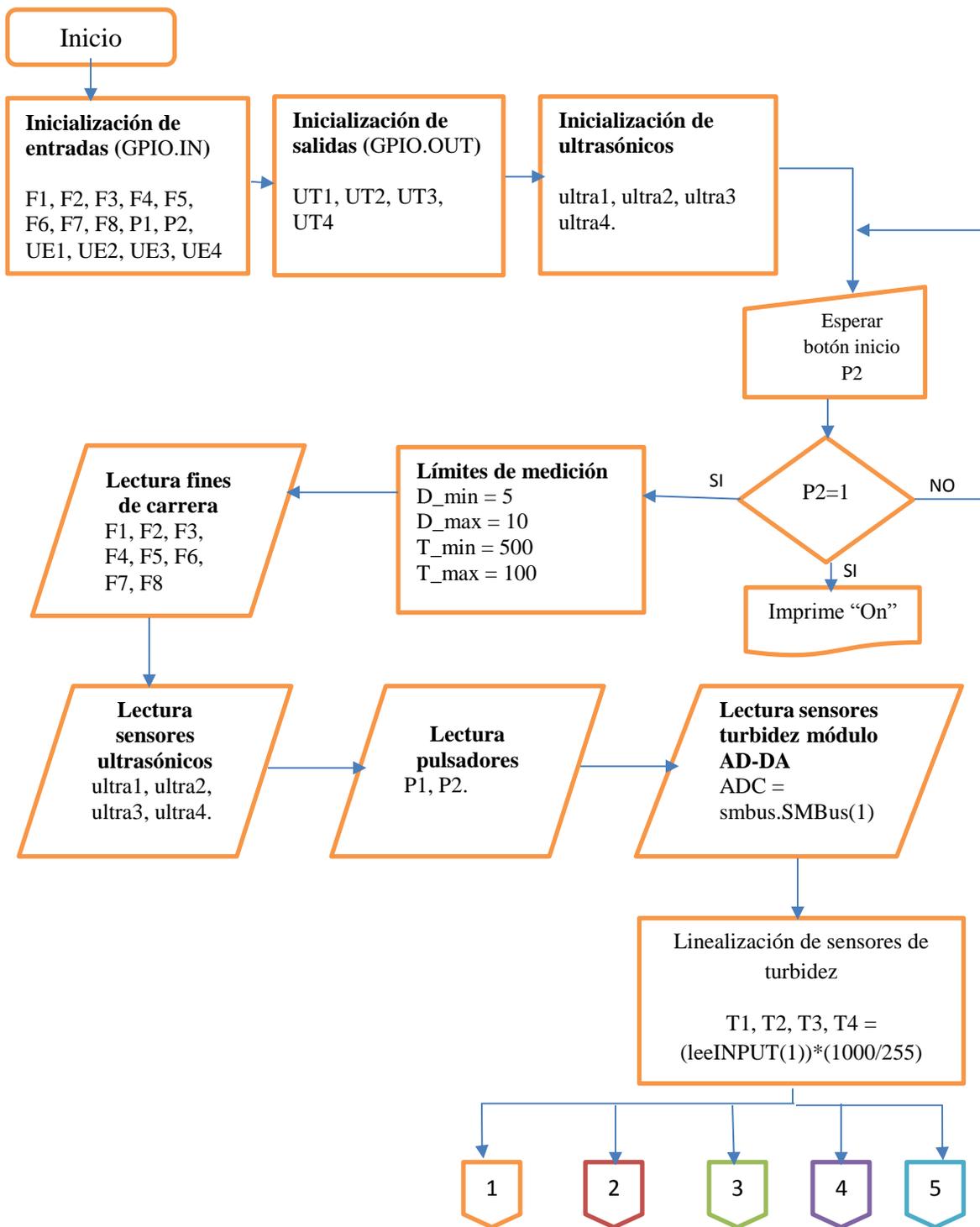
3.7.5. Programa Principal Configurado en la tarjeta Raspberry

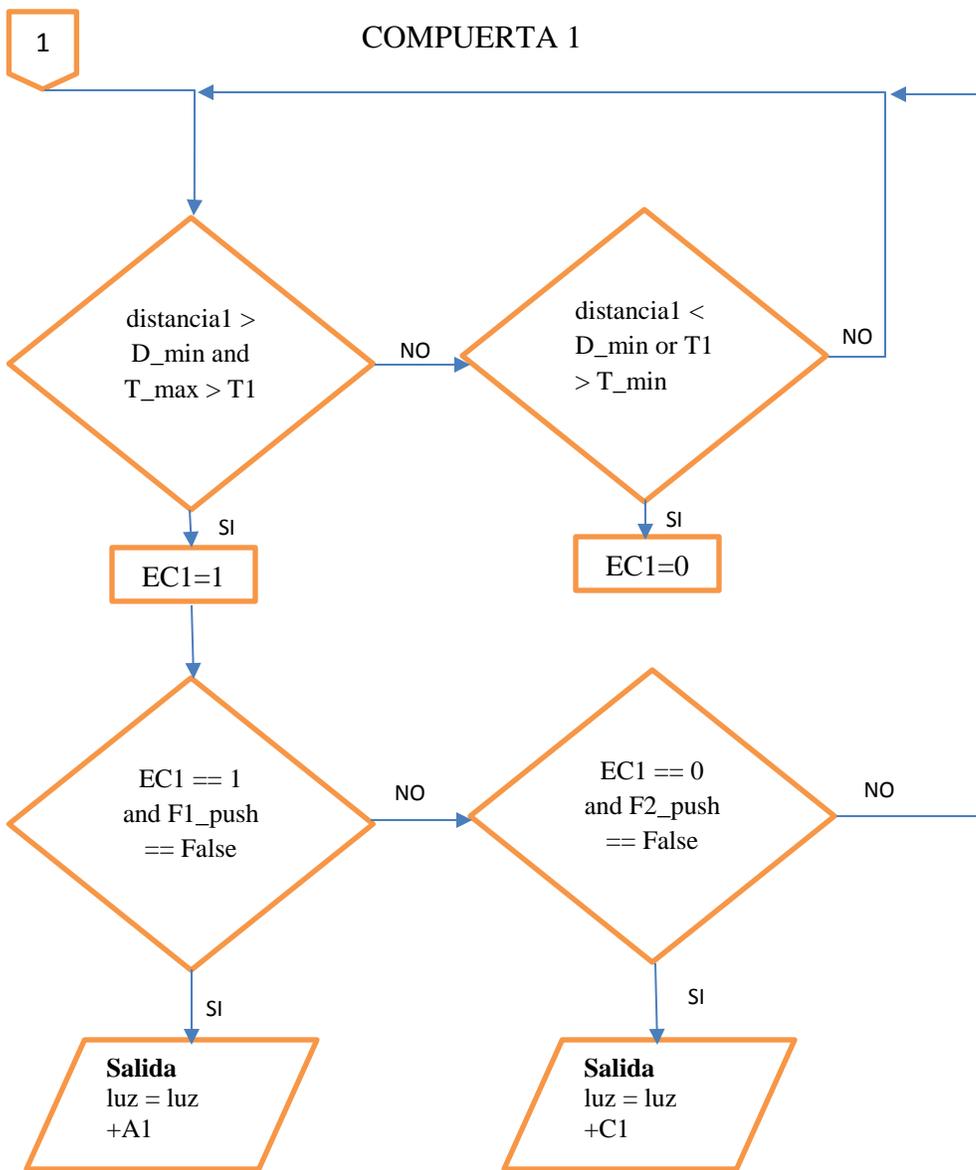
A continuación se muestra el diagrama de flujo que describe el funcionamiento del prototipo. El programa en lenguaje Python se encuentra en el Anexo 3.

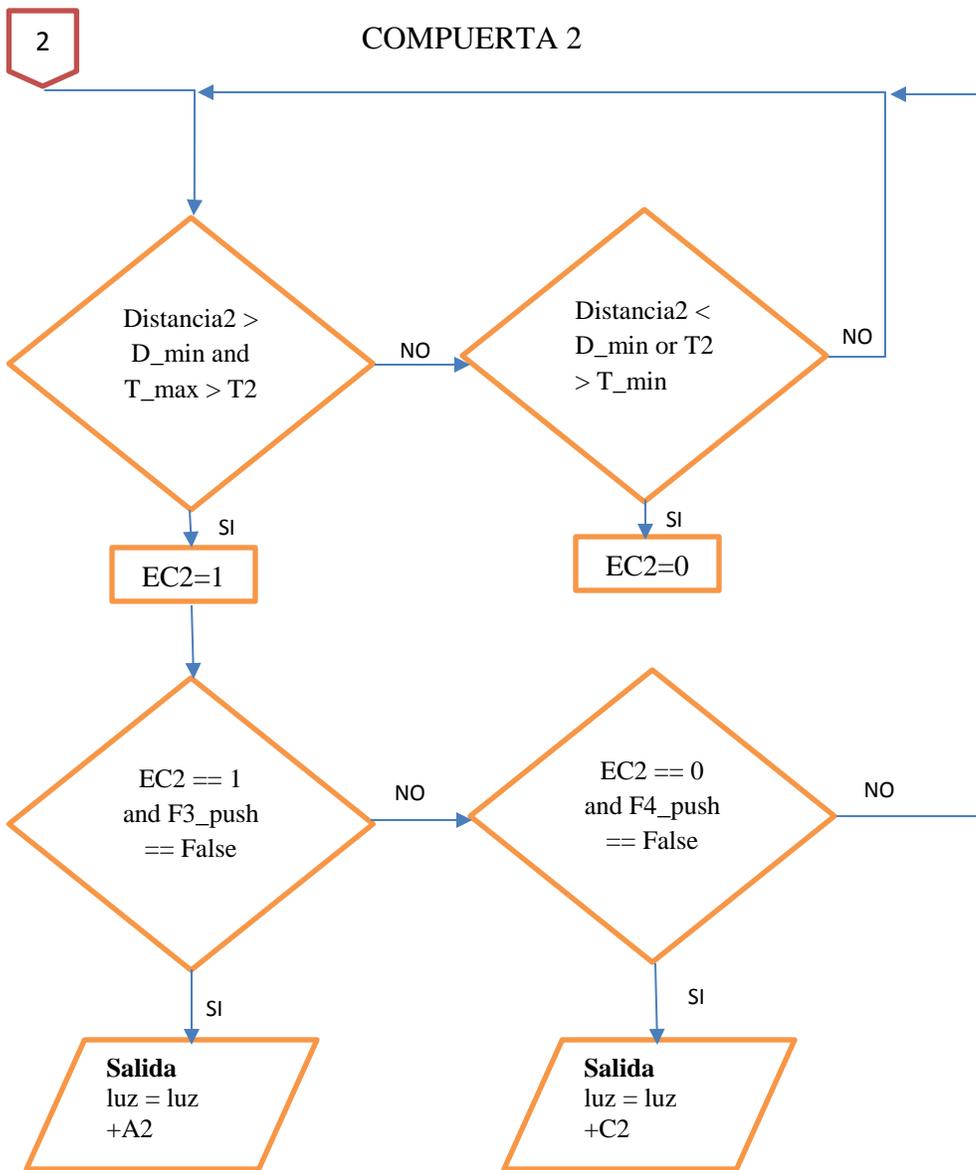
- Primero se debe incluir las librerías que se requiere durante el programa, para que funcione correctamente.
- Luego se declaran las variables que se van a utilizar, y los pines físicos del dispositivo que va a adquirir los datos.
- Después de deben inicializar las variables como entradas o salidas.
- Se declara también los límites de medición de nivel de agua y turbidez.
- Se realiza la lectura de todas las señales de entrada: finales de carrera, pulsadores, sensores de turbidez y sensores ultrasónicos.
- Se linealizan los sensores para ocupar el dato en el proceso.
- Se realizan métodos para cada compuerta que comparan los datos de entrada con los datos límites declarados para cada sensor y se toma una decisión para la señal de salida.
- Por último se envían todos los datos al servidor web para visualizarlos en tiempo real.

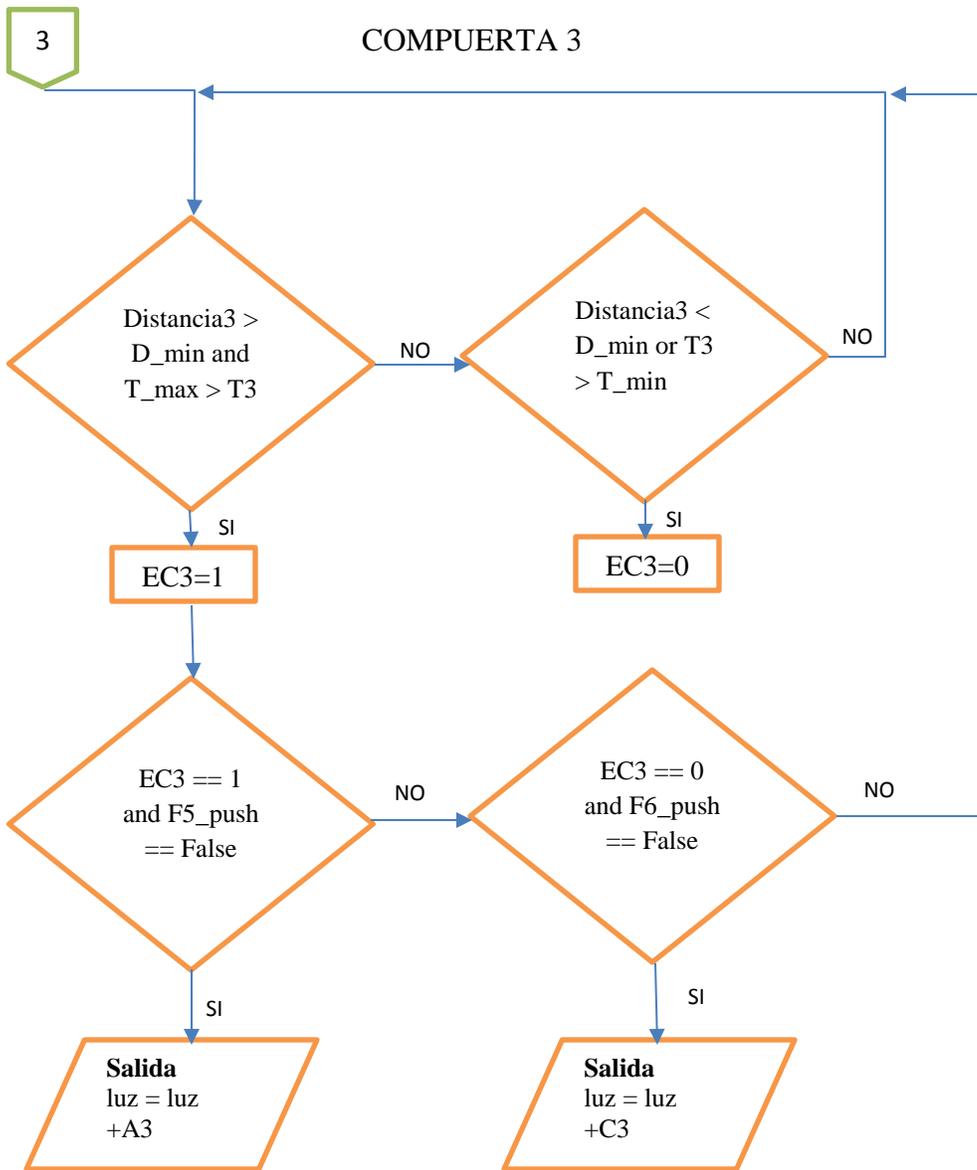
Significado de variables configuradas en el programa:

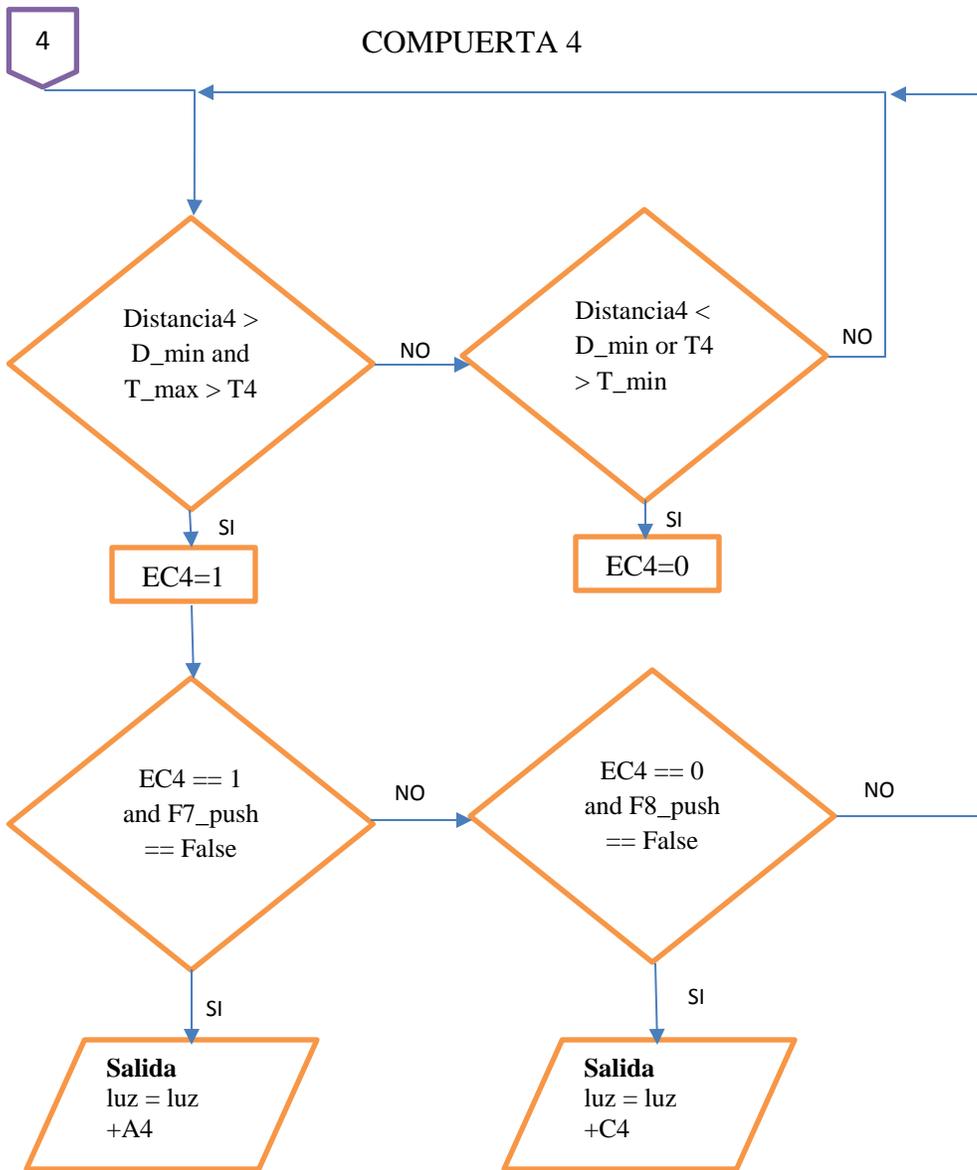
A1 = abriendo compuerta 1	F = finales de carrera	P2 = pulsador on
C1 = cerrando compuerta 1	D_min = distancia mínima	ultra= ultrasónico
A2 = abriendo compuerta 2	D_max = distancia máxima	UT= ultrasónico trig
C2 = cerrando compuerta 2	T_min = turbidez mínima	UE = ultrasónico echo
A3 = abriendo compuerta 3	T_mas = turbidez máxima	EC= estado de compuerta
C3 = cerrando compuerta 3		
A4 = abriendo compuerta 4	P1 = pulsador off	
C4 = cerrando compuerta 4		











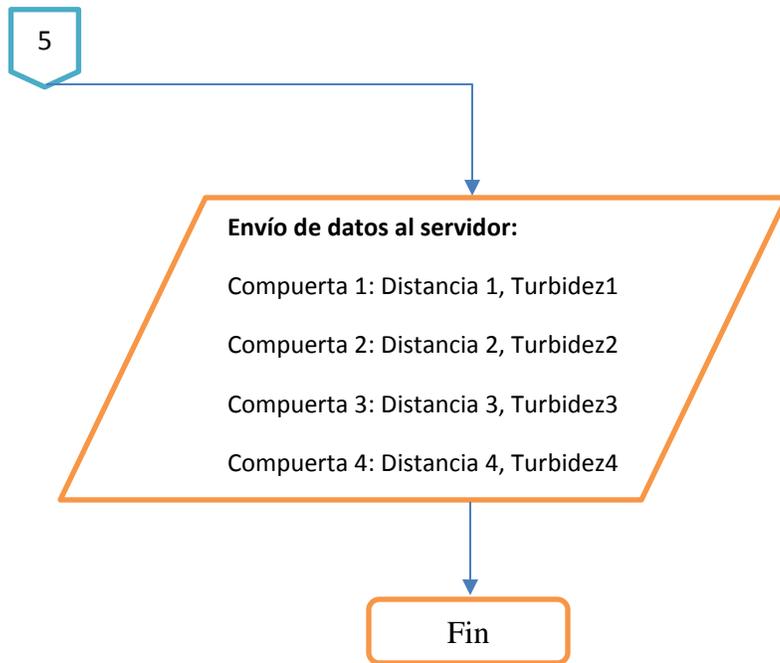


Figura 103. Diagrama de flujo del proceso de monitoreo y control de compuertas de purga.

Elaborado por: El Investigador.

Para poder visualizar los valores de nivel y turbidez de agua de cada tanque en tiempo real, se ha configurado una pantalla utilizando el protocolo mqtt con la herramienta node – red que permite comunicar la Raspberry Pi3 con el servicio de internet.

En la siguiente figura, se muestra la configuración de node-red para recibir los valores de nivel y turbidez de agua desde la Raspberry Pi3.

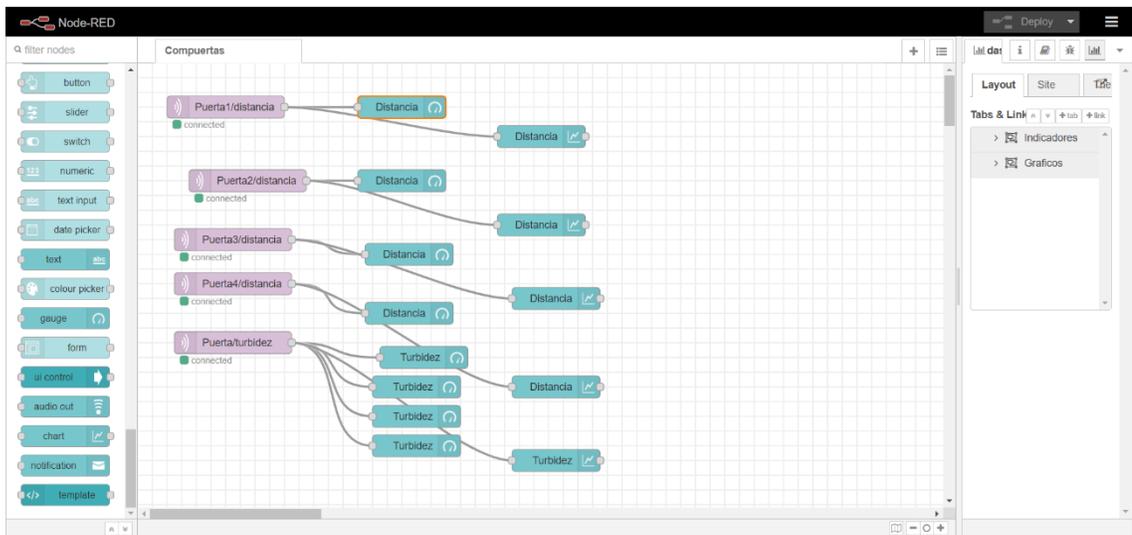


Figura 104. Configuración de programa en Nod-Red

Elaborado por: El Investigador.

En la siguiente figura se muestra la pantalla mediante la cual se indican los valores de los sensores de nivel y turbidez de agua medidos desde la raspberry Pi3 en tiempo real. Esta pantalla es la que se presentó al operario del sistema.

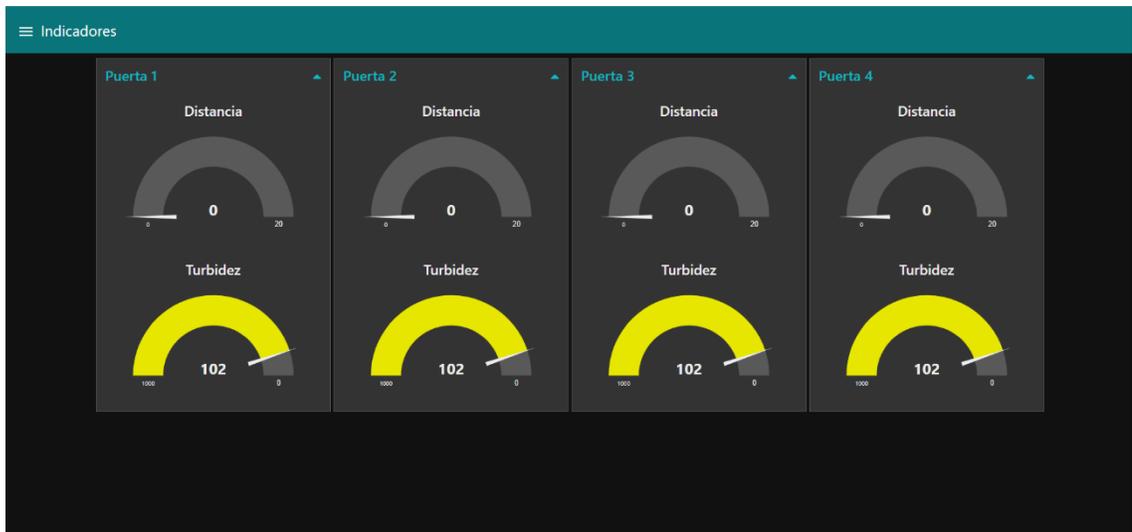


Figura 105. Indicadores de nivel de agua y turbidez en Nod-Red

Elaborado por: El Investigador.

En la siguiente figura se muestra los valores de turbidez y nivel de agua medidos en tiempo real en forma de tren de datos, es la segunda pantalla configurada para presentar los valores al operario del sistema.

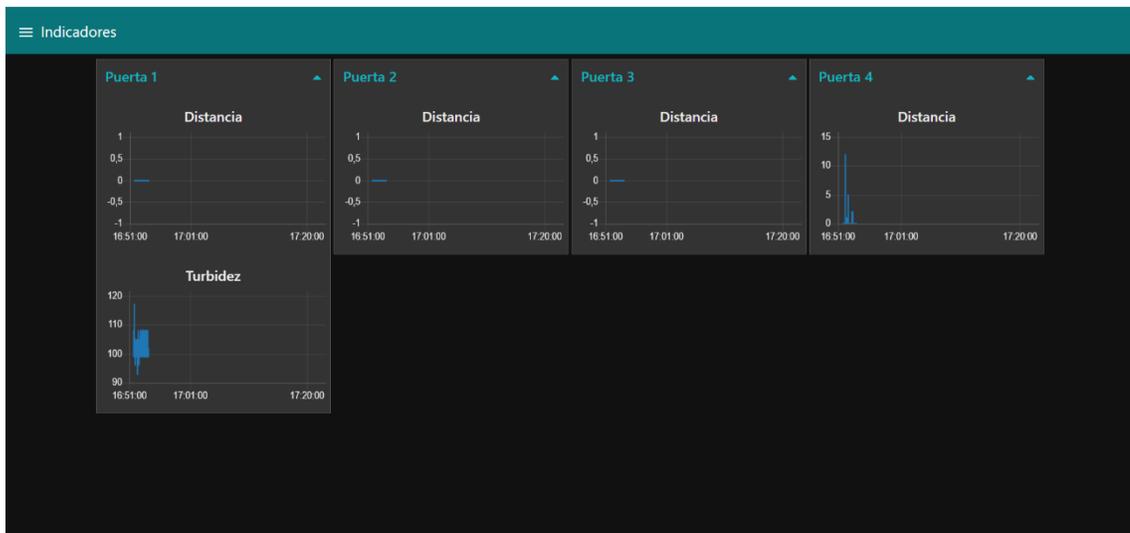


Figura 106. Gráficos en tiempo real de mediciones de nivel y turbidez de agua en Nod-Red.

Elaborado por: El Investigador.

En la siguiente figura se muestra la conexión de la Raspberry Pi3 con los módulos PCF-8574 y PCF-8591 que permiten adquirir los datos para procesarlos de manera adecuada.



Figura 107. Conexiones de Raspberry PI con módulos PCF-8574 y PCF-8591.

Elaborado por: El Investigador.

Todas las señales están centralizadas en un banco de borneras que permiten el mejor acceso y manipulación de cada entrada y salida. El banco de borneras se muestra en la siguiente figura.



Figura 108. Conexiones en borneras para el prototipo de monitoreo y control de las compuertas de purga.

Elaborado por: El Investigador.

Para la visualización de las señales de cada compuerta, se ha implementado un mando que consta de leds indicadores, pulsadores de activación y desactivación y finales de carrera. En la siguiente figura se puede visualizar este tablero.

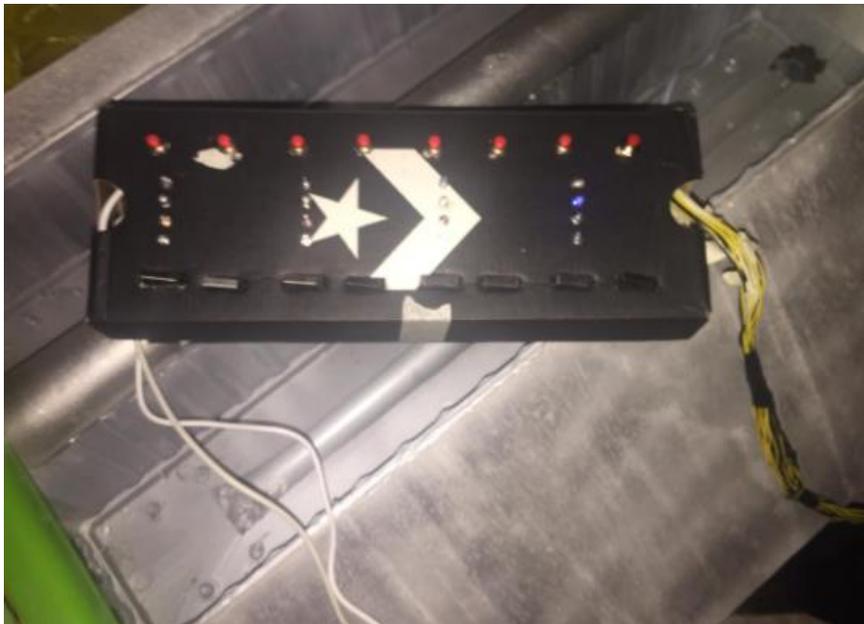


Figura 109. Mando de control y monitoreo de compuertas de purga.

Elaborado por: El Investigador.

3.7.6. Relación de turbidez de agua en NTU vs cantidad en gramos de sedimentos por litro de agua

Para la selección del tipo de turbina y la capacidad del desarenador, se recomienda hacer uso de la información descrita en la siguiente tabla:

Tabla 46. Relación de diámetro de partículas en base a tipos de turbinas

Tipo de turbina	Diámetro máximo de arena
Kaplan	1 mm a 3 mm
Francis	0.4 mm a 1 mm
Pelton	0.2 mm a 0.4 mm

Elaborado por: El Investigador, basado en [88].

Y de acuerdo a la caída neta del agua hacia la turbina:

Tabla 47. Relación de diámetro de partícula en base a caída neta

Caída	Diámetro máximo de arena
100 a 200 m	0.6 mm a 1 mm
200 a 300 m	0.5 mm a 0.6 mm
300 a 500 m	0.3 mm a 0.5 mm
Más de 500 m	0.1 mm a 0.3 mm

Elaborado por: El Investigador, basado en [88].

Para estos diámetros de partículas, con una cantidad de 4 gr/lt, la turbina de sede cambiar a los 4 años de funcionamiento.

Medición de turbidez en base a concentración de sedimentos.

Para encontrar una relación de la medición de turbidez respecto a los gramos de sedimento por litro de agua, se ha tomado un litro de agua del río Verde Chico, sedimento del lecho del río de diámetro menor e igual a 0.6mm y una balanza, como se muestra en las siguientes figuras.



Figura 110. Medición de turbidez en base a concentración de sedimentos.

Elaborado por: El Investigador.

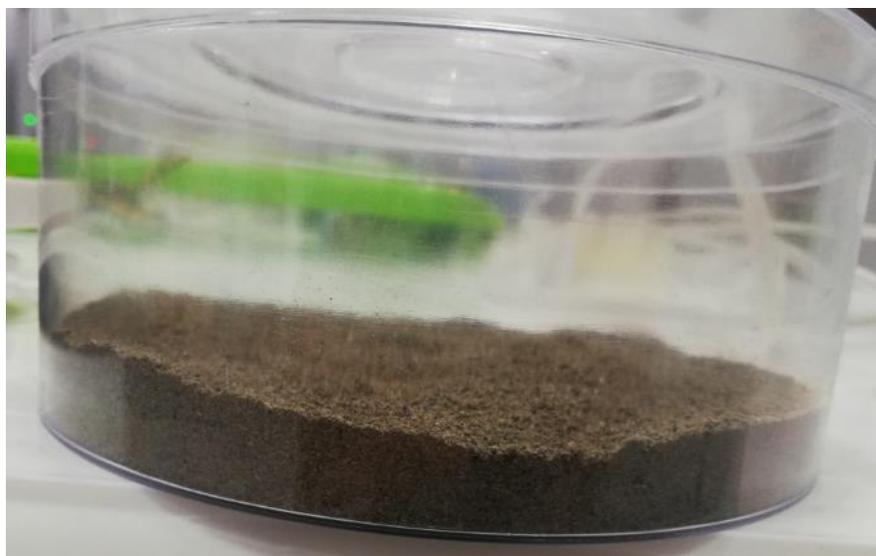


Figura 111. Sedimentos filtrados a 0.6mm de diámetro.

Elaborado por: El Investigador.

1 litro de agua tomada del río verde chico

Como primera muestra se ha medido la turbidez en un litro de agua tomada del río verde chico en época de verano, este es el valor inicial catalogado ideal y es de 765 NTU, ver figura 112.

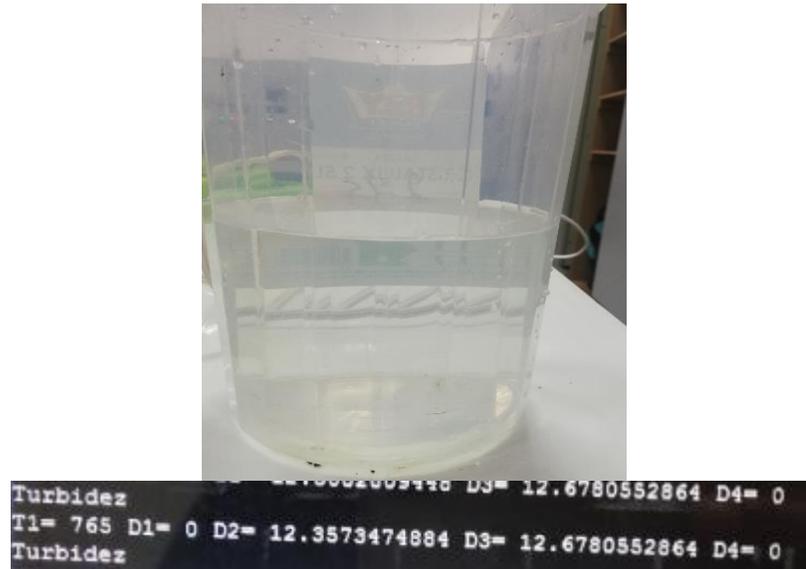


Figura 112. Medición de turbidez en agua limpia

Elaborado por: El Investigador.

Medición de turbidez con una concentración de 1 gr/lit

La segunda muestra es la mezcla de 1 gramo de sedimento en un litro de agua limpia del río Verde Chico, dando como resultado 756 NTU como se muestra en la siguiente figura.



Turbidez 12.3409919738
T1= 756 D1= 0 D2= 12.3409919738
Turbidez

Figura 113. Medición de turbidez con una concentración de 1 gr/lit
Elaborado por: El Investigador.

Medición de turbidez con una concentración de 2 gr/lit

La tercera muestra es tomada luego de mezclar 2 gramos de sedimento en un litro de agua limpia del río Verde Chico, dando como resultado 726 NTU, como se visualiza en la siguiente figura.



Figura 114. Medición de turbidez con una concentración de 2 gr/lit
Elaborado por: El Investigador.

Medición de turbidez con una concentración de 4 gr/lit

La cuarta muestra es tomada de la mezcla de 4 gramos de sedimento en un litro de agua del río Verde Chico, dando como resultado 702 NTU, como se visualiza en la siguiente figura.



Figura 115. Medición de turbidez con una concentración de 4 gr/lit

Elaborado por: El Investigador.

Medición de turbidez en muestra de agua tomada luego de un aluvión.

Como un dato adicional, se ha tomado una muestra de agua después de un aluvión proveniente del río Cristal, se muestra en la siguiente figura, el resultado es 564 NTU, y este valor de turbidez es considerado crítico y la planta de generación no debería funcionar con esta calidad de agua. No se ha determinado la concentración de sedimento en gramos/litro.

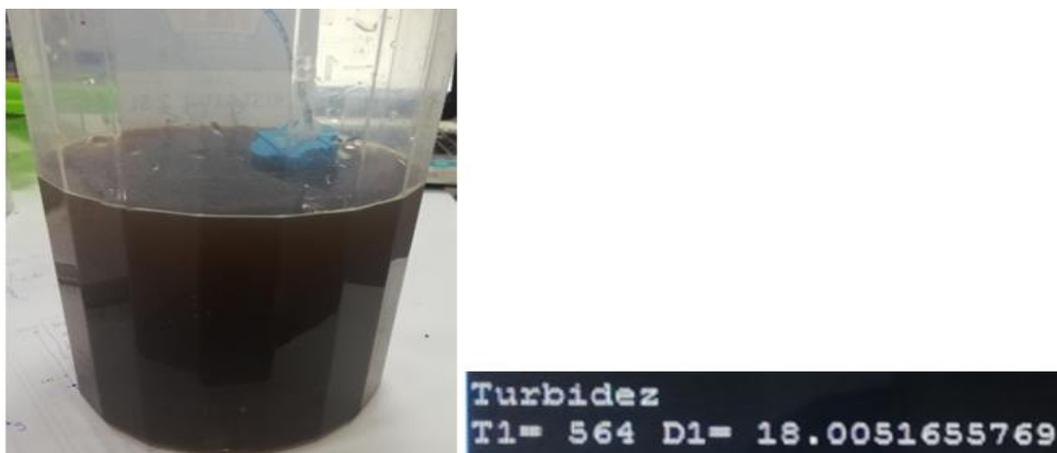


Figura 116. Medición de turbidez en muestra de agua tomada luego de un aluvión.

Elaborado por: El Investigador.

Expuesto esto se ha realizado un muestreo de los datos, considerando cierta histéresis entre los límites críticos de concentración de sedimentos, se ha elaborado una tabla exponiendo los resultados:

Tabla 48. Muestreo de valores de turbidez en base a concentración de sedimentos en el agua.

Tipo de valor	Valor (gr/lt)	Turbidez (NTU)	Recomendación
Río en invierno	---	< 564	Apagar la planta de generación
Crítico	4	702	Abrir compuertas
Superior	2	726	Abrir compuertas
Ideal	1.1	756	Operar normal
Río en verano	0	765	Operar normal

Elaborado por: El Investigador.

La relación entre la turbidez medida en NTU respecto a la concentración de sedimentos se describe en la siguiente ecuación:

Para encontrar la ecuación de la recta que describa la relación entre los gramos de sedimento diluidos en un litro de agua, respecto a la turbidez (NTU) medida para esa muestra, se aplicó el método de mínimos cuadrados descritos en la siguiente tabla, ver figura 117.

Tabla 49. Parametrización de ecuación lineal de relación turbidez vs concentración (gramos).

x	y		
gramos	NTU	xy	x²
0	765	0	0
1	756	756	1
2	726	1452	4
4	702	2808	16
sumatoria	7	2949	21

m	-16,54
b	766,2

Elaborado por: El Investigador.

Como resultado se encontró la siguiente ecuación:

$$y = -16,54x + 766,5$$

$$NTU = -16,54Gramos + 766,5$$

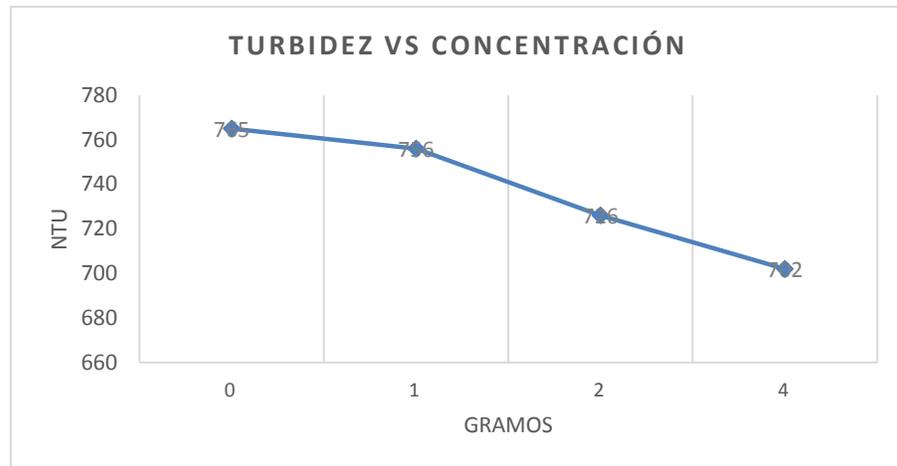


Figura 117. Relación turbidez vs concentración

Elaborado por: El Investigador.

3.7.7. Funcionamiento

Tanque 1, 2, 3 con buen nivel de agua y turbidez alta y tanque 4 con nivel de agua nulo y turbidez alta.

Las compuertas se abren para los tanques 1, 2 y 3, tanque 4 sin agua y alta turbidez la compuerta se cierra o permanece cerrada.



Figura 118. Tanque 1, 2, 3, con buen nivel de agua y turbidez alta y compuerta 4 con bajo nivel de agua y turbidez alta.

Elaborado por: El Investigador.



Figura 119. Compuerta 1, 2, 3, con señal de apertura y compuerta 4 con señal de cierre.

Elaborado por: El Investigador.

Tanques 1, 2, 3, 4 con buen nivel de agua y alta turbidez, las compuertas se abren.



Figura 120. Tanques 1, 2, 3, 4 con buen nivel de agua y alta turbidez

Elaborado por: El Investigador.



Figura 121. Compuerta 1, 2, 3, 4 con señal de apertura.

Elaborado por: El Investigador.

3.7.8. Presupuesto del prototipo del sistema de control y monitoreo del sistema de captación de agua de la central hidroeléctrica Río Verde Chico.

Tabla 50. Presupuesto del prototipo del sistema electrónico de monitoreo y control para el sistema de captación de agua.

Ítem	Elemento electrónico	Unidad	Cantidad	Valor unitario	Valor total
1	Diodos led	c/u	16	\$ 0.19	\$ 3.04
2	Resistencias	c/u	32	\$ 0.05	\$ 1.6
3	Finales de carrera	c/u	8	\$ 0.85	\$ 6.8
4	Pulsadores	c/u	8	\$ 0.28	\$ 2.24
5	Borneras 3 pin	c/u	14	\$ 0.32	\$ 4.48
6	Capacitores	c/u	8	\$ 0.09	\$ 0.72
7	Raspberry Pi 3 modelo B	c/u	1	\$ 105	\$ 105
8	PCF-8574	c/u	1	\$ 10.6	\$ 10.6
9	PCF-8591	c/u	1	\$ 14.75	\$ 14.75
10	Sensor ultrasónico	c/u	4	\$ 2.65	\$ 10.6
11	Sensor de turbidez	c/u	4	\$ 24.75	\$ 99
12	Cable de timbre	metros	100	\$ 0.2	\$ 20
13	Cables para protoboard	paquete	3	\$ 2.5	\$ 7.5
14	Protoboard	c/u	1	\$ 4.52	\$ 4.52
15	Fuente de alimentación 5VDC, 2ª	c/u	1	\$ 4	\$ 4

16	Fuente de alimentación 5VDC, 500mA	c/u	1	\$ 3.5	\$ 3.5
17	Conversor HDMI a VGA	c/u	1	\$ 12.25	\$ 12.25
18	Cautín	c/u	1	\$ 9	\$ 9
19	Suelda	metros	3	\$ 0.55	\$ 1.65
Elemento para maqueta					
20	Macetas 75x12cm	c/u	2	\$ 5.75	\$ 11.5
21	Tanque plástico 44x33cm	c/u	2	\$ 4.5	\$ 9
22	Barras de silicón	c/u	50	\$ 0.2	\$ 10
23	Pistola de silicón	c/u	1	\$ 5	\$ 5
24	Pega tanque	c/u	2	\$ 6	\$ 12
25	Pintura blanca	c/u	2	\$ 2.5	\$ 5
26	Pintura gris	c/u	2	\$ 2.5	\$ 5
27	Pintura negra	c/u	1	\$ 2.5	\$ 2.5
28	Sierra pequeña	c/u	1	\$ 1.25	\$ 1.25
29	Tijera	c/u	1	\$ 0.75	\$ 0.75
30	Tubo PBC de ½"	metro	1	\$ 5.5	\$ 5.5
31	Codo para tubo PBC de ½"	c/u	1	\$ 1.25	\$ 1.25
32	T para tubería PBC de ½"	c/u	1	\$ 1.25	\$ 1.25
33	Teflón	c/u	1	\$ 1.5	\$ 1.5
34	Lija #100	c/u	1	\$ 0.7	\$ 0.7
35	Lija #80	c/u	1	\$ 0.75	\$ 0.75
36	Taípe	c/u	2	\$ 0.65	\$ 1.3
37	Peladora de cable	c/u	1	\$ 4.5	\$ 4.5
38	Masking	c/u	1	\$ 1.1	\$ 1.1
39	Extensión corriente 2metros	c/u	1	\$ 3.9	\$ 3.9
				Total	\$ 405

Elaborado por: El Investigador.

CAPITULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones

Luego de haber realizado el estudio de la situación actual del funcionamiento del sistema de captación de agua de la central hidroeléctrica Río Verde Chico, el rendimiento de la central está directamente relacionado con la calidad del agua del río que la alimenta, a pesar de tener grandes caudales, si el río contiene alto grado de sedimentación, la central hidroeléctrica no puede hacer uso de esa agua. La alta concentración de sedimentos, contribuye al desgaste de los rodetes de las turbinas, produciendo un gasto extra para la central.

La cuenca hidrológica del río Verde Chico es muy sensible a cambios de clima en época de verano, la presencia de mínimas precipitaciones produce deslizamientos de tierra y agua turbia con alto grado de sedimentación, en cambio en época de invierno por presencia de grandes precipitaciones suelen ocurrir aluviones o deslizamientos que no solo acarrean árboles y flora silvestre, sino que pone en riesgo la obra civil y por ende a la planta de generación.

Luego de una evaluación del equipo existente en el sistema de captación, una compuerta de purga es manual y funciona con mecanismo de volante mecánico, el personal de operación tarda quince minutos en abrirla totalmente, las otras dos compuertas de purga de los desarenadores poseen tableros separados, en momentos de emergencia el personal de operación debe operar manualmente las compuertas debido a que el accionamiento es en base a pulsadores sin enclavamiento. La única compuerta que cuenta con PLC para supervisión y control es la compuerta de purga del tanque de carga, pero el PLC controla también la compuerta del tanque de carga hacia la tubería de conducción, entonces se debe

aislar el control de todas las compuertas y para poder centralizarlas en un tablero de control con un PLC dedicado solo al control y supervisión de este sistema de purgas.

En cuanto a la implementación del prototipo del sistema de monitoreo y control de las compuertas de purga del sistema de captación de agua, se ha realizado varias pruebas con los sensores de turbidez de agua, mediante las cuales se han establecido los valores críticos de turbidez mediante los cuales la central hidroeléctrica ya no puede generar, los valores límites para la generación debido al riesgo de daño en las cucharas de las turbinas y los valores donde se puede utilizar el agua con normalidad sin temor a daños futuros. Estos valores se muestran en la tabla 44. Cabe recalcar que las turbinas Pelton se deben cambiar cada 4 años si la concentración de sedimentos es de 4gr/lit.

En cuanto al sistema de monitoreo de la cuenta hidrológica, se han localizado puntos estratégicos para un radio enlace eficiente, y con línea de vista directa teniendo valores de despeje de la primera zona de fresnell mayores a 6.6F1 y pérdidas mínimas. También se ha realizado una visita física a cada lugar notando que no cuentan con acceso para vehículos pero si pequeños senderos hasta cada sitio. Se ha considerado realizar dos enlaces punto multipunto: Río Valencia – Montañita – Río Muyo – Palacio – Repetidora y Captación – Río Cristal – Repetidora, de esta manera se optimizan equipos, puntos de repetición y por ende costos de implementación.

El sistema de monitoreo de la cuenca hidrológica es de gran importancia para la toma de decisiones oportuna del personal de operación ante eventos críticos como son: crecidas de río, aluviones, alta concentración de sedimento en el agua y presencia de árboles en el agua. Una vez identificado el lugar y el evento mediante la visualización en las cámaras, el personal de operación puede evacuar las instalaciones o realizar cualquier tipo de maniobras que precautelen los equipos, las instalaciones y la vida humana.

4.2. Recomendaciones

Se recomienda realizar el mantenimiento preventivo adecuado de las compuertas de purga, engrasar el sistema mecánico y dar mantenimiento a los motores, debido a que las compuertas siempre están en uso durante la operación de la central.

Es necesario colocar el sensor de turbidez a una altura de 0.5 metros desde la loza de los tanques, para evitar grandes concentraciones de sedimentación debido a las compuertas de purga son relativamente pequeñas y no evacúan el sedimento rápidamente.

En caso de evidenciar por las cámaras de monitoreo un aluvión, es aconsejable apagar la generación, y realizar todas las maniobras respectivas para evacuar al personal de las instalaciones de captación.

Se recomienda construir tapas para la entrada de agua del sistema de captación, esto evitarán que durante las crecidas de río, ingrese sedimentación, hojas y troncos de árboles a las instalaciones, y se evitará la acumulación de estos desechos en el tanque desripador.

Se debe adquirir el sensor de turbidez recomendado en el presente documento “HACH LXV324.99.20002”, debido a que este modelo posee escobillas de auto limpiado.

Se recomienda implementar estaciones meteorológicas en cada punto de monitoreo de la cuenca hidrológica y a la vez implementar un sistema de alerta para uso de las comunidades aledañas a los afluentes del río Muyo.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] J. Roca, «La energía hidroeléctrica mundial aumentó su capacidad en 21,8 GW en 2018,» 14 mayo 2019. [En línea]. Available: <https://elperiodicodelaenergia.com/la-energia-hidroelectrica-mundial-aumento-su-capacidad-en-218-gw-en-2018/>. [Último acceso: 12 septiembre 2020].
- [2] OLADE, «Panorama Energético de América Latina y el Caribe 2017,» OLADE, Quito-Ecuador, 2017.
- [3] Agencia de Regulación y Control de Electricidad, «Mapa N3: Centrales de GGeneración Hidráulica,» enero 2018. [En línea]. Available: <https://www.regulacionelectrica.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/11/Centrales-de-generacio%CC%81n-hidra%CC%81ulica.pdf>. [Último acceso: 6 abril 2019].
- [4] Agencia de Regulación y Control de la Electricidad, «Balance Nacional de Energía enero 2019,» enero 2019. [En línea]. Available: <https://www.regulacionelectrica.gob.ec/balance-nacional/>. [Último acceso: 6 abril 2019].
- [5] CONELEC, «Aspectos de sustentabilidad y sostenibilidad social y ambiental,» Ministerio de Electricidad y Energía Renovable, Quito, 2020.
- [6] A. H. Cañar, Diseño e Implementación de un Sistema SCADA para la Central Hidroeléctrica La Península, Sangolquí: Escuela Politécnica del Ejército, 2009.
- [7] E. X. Domínguez y D. O. Logroño, Diseño e implementación del control automático y monitoreo del nivel del embalse en la central hidroeléctrica Agoyán, Quito: Escuela Politécnica Nacional, 2010.

- [8] L. E. Chico, SISTEMA INALÁMBRICO PARA CONTROL Y MONITOREO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DEL CANTÓN BAÑOS, AMBATO: UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO, 2015.
- [9] G. V. M. A. Gonzales de Hoyos, «Implementación de un sistema SCADA para el monitoreo en tiempo real de temperatura y nivel en silos de almacenamiento de leche,» Instituto Tecnológico Superior de Lerdo, Lerdo, 2015.
- [10] J. Cuenca y E. Rivera, Propuesta de automatización de las compuertas del canal de riego del ramal de la Parroquia Limones del Cantón Zapotillo, Loja: Universidad Nacional de Loja, 2016.
- [11] I. F. Quishpe, DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE SISTEMAS SCADA PARA EL MONITOREO DE CAPTACION, ALMACENAMIENTO Y DISTRIBUCION DE AGUA POTABLE PARA LA EP-EMAPAR, Riobamba: Escuela Superior Politecnica del Chimborazo, 2017.
- [12] M. G. Villacrés, «Diseño e instalación de un sistema de control, supervisión y monitoreo para la compuerta de restitución tipo vagón de la Central Hidroeléctrica San Francisco mediante el uso de un PLC de una interfaz humano – máquina.,» Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, 2017.
- [13] Thales, «Centrales Hidroeléctricas,» 3 marzo 2000. [En línea]. Available: <https://thales.cica.es/>.
- [14] Ecovive, «Elementos Principales de una Central Hidroeléctrica,» 15 septiembre 2010. [En línea]. Available: <https://ecovive.com/elementos-principales-de-una-central-hidroelectrica/>.
- [15] I. C. Cardozo, «Centrales Hidroeléctricas,» OLADE, Itaipu, 2011.

- [16] X. Criollo y C. Quezada, Diseño de una minicentral de energía hidroeléctrica en la planta de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Cuenca, Cuenca: Universidad Politécnica Salesiana, 2011.
- [17] G. Ruiz, Sistema de control y monitoreo para mejorar los procesos de administración de los laboratorios de las carreras de Sistemas, Electrónica e Industrial en la FISEI-UTA, Ambato: Universidad Técnica de Ambato, 2014.
- [18] Suhissa, «Sistemas de monitoreo,» 2018. [En línea]. Available: <https://suhissa.com.mx/sistemas-de-monitoreo/>.
- [19] F. Carrillo, «Sensores,» 17 febrero 2013. [En línea]. Available: <https://es.slideshare.net/normamaggie/unidad-i-sensores>.
- [20] C. Castaño, «Automatización y control de un sistema de generación hidroeléctrico didáctico y modular,» 2009. [En línea]. Available: <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/9372/1/P24.pdf>.
- [21] Centre for Microcomputer Applications, «CMA,» 13 17 2015. [En línea]. Available: https://cma-science.nl/resources/dealers/es/manuals/bt_sensors/BT88i_es.pdf. [Último acceso: 16 07 2019].
- [22] C. Veloso, «Funcionamiento de un sensor de temperatura,» ETOOLS, 30 03 2016. [En línea]. Available: <https://www.electrontools.com/Home/WP/2016/03/30/funcionamiento-de-un-sensor-de-temperatura/>. [Último acceso: 16 07 2019].
- [23] PCE ibérica, «PCE instruments,» PCE, [En línea]. Available: <https://www.pce-iberica.es/instrumentos-de-medida/sistemas/sensores-caudal.htm>. [Último acceso: 16 07 2019].

- [24] V. González, «Actuadores,» 2002. [En línea]. Available: [:http://platea.pntic.mec.es/vgonzale/cyr_0204/ctrl_rob/robotica//sistema/actuadores.htm](http://platea.pntic.mec.es/vgonzale/cyr_0204/ctrl_rob/robotica//sistema/actuadores.htm).
- [25] Motores eléctrico , «Bombas y motores eléctricos,» Motores eléctrico , [En línea]. Available: https://www.motoreselectricos.eu/res/site89593/res424177_MS-8-POLOS.pdf. [Último acceso: 21 04 2020].
- [26] W. Salas, «Conexion Estrella-Triangulo,» 2013. [En línea]. Available: <https://automatismosuets.wordpress.com/conexion-estrella-triangulo/>. [Último acceso: 12 septiembre 2020].
- [27] F. Mecafenix, «Guardamotor [Protección para motores eléctricos],» 29 marzo 2017. [En línea]. Available: <https://www.ingmecafenix.com/electricidad-industrial/guardamotor/>.
- [28] R. Cáceres, «Clasificacionde Tipos De PLC,» 2019. [En línea]. Available: <https://www.clasificacionde.org/tipos-de-plc-2/>. [Último acceso: 12 septiembre 2020].
- [29] Industrial Automation, «intrave,» intrave.com, 20 02 2015. [En línea]. Available: <https://intrave.wordpress.com/2015/02/20/para-que-sirve-un-plc/>. [Último acceso: 30 07 2019].
- [30] R. Ramos, «Cuadro comparativo entre PLC,» 20 agosto 2017. [En línea]. Available: <https://es.scribd.com/document/356724470/Cuadro-comparativo-entre-PLC>.
- [31] D. B. C. Jansel Leyva Bravo, «La comunicación inalámbrica a través de la banda de los 60GHz,» Universidad y Ciencia Cuba, vol. 2, nº 8, pp. 89-96, 2016.
- [32] P. Ruesca, «Radio Comunicaciones,» Radio y Engineering Company SL, 25 09 2016. [En línea]. Available: <http://www.radiocomunicaciones.net/radio/radio-enlace-que-es-un-radioenlace/>. [Último acceso: 17 07 2019].

- [33] A. Martínez, «OTROS SISTEMAS DE ACCESO INALÁMBRICO,» Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, 2011.
- [34] J. L. Martínez, «¿Qué es un radioenlace?,» 15 noviembre 2018. [En línea]. Available: <https://medium.com/@jlmartinez.es/qu%C3%A9-es-un-radioenlace-159ab9a66775>.
- [35] K. Suqui, «Estudio e implementación de un radio enlace con tecnología Mikrotik para el ISP JJSistemas en el cantón Gualaquiza, Provincia Morona Santiago,» Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca, 2010.
- [36] J. L. Monteros, «Diseño de un sistema de videovigilancia inalámbrico para la ciudad de Cayambe.,» junio 2015. [En línea]. Available: <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/10648/1/CD-6285.pdf>.
- [37] INTPLUS, «Cámaras de video vigilancia,» INTPLUS, 02 05 2019. [En línea]. Available: <http://www.videovigilancia.com/S120360.htm>. [Último acceso: 17 07 2019].
- [38] L. Contreras, «Qué es un Sistema SCADA,» Centro de Formación Técnica para la Industria, junio 2019. [En línea]. Available: <https://www.cursosaula21.com/que-es-un-sistema-scada/>.
- [39] C. Chávez, Estudio del Parque Nacional Llanganate, para determinar líneas estratégicas de acción en fomento de Turismo., Quito: Universidad Tecnológica Equinoccial, 2008.
- [40] E. Vásquez y A. Mena , «Proyecto hidroeléctrico Río Verde Chico: descripción y tecnología.,» Hidrosierra S.A., Quito, 2018.
- [41] Zurita, Carlos,; «Memoria Hidráulica Proyecto Hidroeléctrico Río Verde Chico,» Plan Procons Cia. LTDA., 2016.

- [42] E. Heredia y R. Benitez, «Estudio del evento hidrometeorológico del 20 y 21 de junio del 2019 de la cuenca del río Verde Chico,» Hidrosierra S.A., Quito, 2019.
- [43] Amidata S.A.U., «RS online,» Amidata S.A.U., [En línea]. Available: <https://es.rs-online.com/web/p/sensores-de-nivel/8044095/>. [Último acceso: 18 11 2019].
- [44] A. Mena, Diagrama unifilar global Anexo 1 Central Río Verde Chico, Ambato: Hidrosierra S.A., 2019.
- [45] WKV, Información de centrales de generación, WKV, 2019.
- [46] Central Hidroeléctrica Río Verde Chico, «Informe de producción mensual julio 2019,» Hidrosierra S.A., Baños, 2019.
- [47] C. Villagomez, «Introducción el wifi,» ccm.net, 13 02 2018. [En línea]. Available: <https://es.ccm.net/contents/789-introduccion-a-wifi-802-11-o-wifi>. [Último acceso: 16 04 2020].
- [48] Ministerio de educación, cultura, y deporte del gobierno de España, «Wimax,» Ministerio de educación, cultura, y deporte del gobierno de España, 04 05 2006. [En línea]. Available: <http://recursostic.educacion.es/observatorio/web/es/equipamiento-tecnologico/redes/349-andres-lamelas-torrijos>. [Último acceso: 16 04 2020].
- [49] G. Alsina, «Punto de acceso 802.11ac para exteriores,» Comunicaciones inalámbricas hoy, 09 07 2015. [En línea]. Available: <https://www.comunicacionesinalambricashoy.com/punto-de-acceso-802-11ac-para-exteriores/>. [Último acceso: 20 04 2020].
- [50] Universidad de Alicante, «Internet y la web - Conexiones,» Universidad de Alicante, 2017. [En línea]. Available: https://moodle2017-18.ua.es/moodle/pluginfile.php/39723/mod_resource/content/7/conexiones/index.htm. [Último acceso: 20 04 2020].

- [51] G. E. S. Castro, «DISEÑO DE UN SISTEMA INALÁMBRICO PUNTO - MULTIPUNTO CON SEGMENTACIÓN DE TRÁFICO POR VLAN, PARA BRINDAR SERVICIO DE INTERNET A LA PARROQUIA BARBONES DEL CANTÓN EL GUABO EN LA PROVINCIA DE EL ORO POR MEDIO DE LA EMPRESA ISP CESCUNET,» Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, Guayaquil, 2019.
- [52] Energía Solar, «Energía Solar,» solar-energía.net, 13 04 2017. [En línea]. Available: <https://solar-energia.net/que-es-energia-solar/panel-solar>. [Último acceso: 15 04 2020].
- [53] Mercado lider gold , «Paneles Solares Monocristalinos 50w,» Mercado libre Ecuador, Guayaquil.
- [54] Osnox, «Panel Solar Dif Potencia 100w 60w 50w 40w 30w 20w 15w 10w 5w,» Mercado Libre, Quito.
- [55] E. Rodriguez, «Baterías para paneles solares fotovoltaicos,» areatecnología.com, [En línea]. Available: <https://www.areatecnologia.com/electricidad/baterias-para-paneles-solares.html>. [Último acceso: 15 04 2020].
- [56] REBATEX SOLUCIONES, «Baterías y amperios, soluciones en baterías,» Rebatex, Baleares.
- [57] Autosolar, «Baterías solares,» Autosolar, Valencia.
- [58] Wikipedia, «Estación base,» Wikipedia, 02 10 2019. [En línea]. Available: https://es.wikipedia.org/wiki/Estaci%C3%B3n_base. [Último acceso: 21 04 2020].
- [59] Ubiquiti Networks, Datasheet Rocket M, Ubiquiti Networks Inc, 2015.
- [60] Ubiquiti Networks, Datasheet Rocket Prism ac Gen2, Ubiquiti Networks Inc, 2017.
- [61] Ubiquiti Networks, Datasheet airMax Sector, Ubiquiti Networks, 2018.

- [62] Ubiquiti Networks, Datasheet LiteBeam AC Gen2, Ubiquiti Networks, 2019.
- [63] E. Torres, «Diferencias entre pararrayos activos y pasivos,» INGESCO LIGHTNING SOLUTIONS, 28 04 2016. [En línea]. Available: <https://www.ingesco.com/es/noticias/diferencias-entre-pararrayos-activos-y-pasivos>. [Último acceso: 21 04 2020].
- [64] Corporación DIM, Pararrayos Franklin de 5 puntas, Quito: Corporación dim ec, 2006.
- [65] Corporación DIM, Pararrayos Franklin mono puntal, Quito: Corporacion dim ec, 2006.
- [66] R. García, «Qué diferencias hay entre cables de red Ethernet y en qué debes fijarte al comprarlos,» adslzone.net, 09 02 2020. [En línea]. Available: <https://www.adslzone.net/reportajes/tecnologia/cables-ethernet-red/>. [Último acceso: 24 04 2020].
- [67] S. d. Luz, «RedesZone,» Grupo ADSLZone, 2018. [En línea]. Available: <https://www.redeszone.net/redes/que-cable-de-red-ethernet-debo-utilizar-guia-de-eleccion-para-categoria-5-5e-6-y-6a/>. [Último acceso: 4 9 2020].
- [68] DAHUA TECHNOLOGY, «Datasheet camara DH-SD59230U-HNI,» DAHUA TECHNOLOGY, 2018. [En línea]. Available: https://www.dahuasecurity.com/asset/upload/product/20180802/SD59230U-HNI_Datasheet_20180802.pdf. [Último acceso: 10 04 2020].
- [69] Hik vision, «Datasheet camara DS-2DF8248IX-AEL(W) (C),» Hik vision, 2018. [En línea]. Available: <https://www.hikvision.com/es-la/Product/Detail/14951090270719/833144516709416>. [Último acceso: 10 04 2020].

- [70] tp-link, «CPE de Exterior 5GHz 300Mbps 13dBi CPE510,» tp-link.com, 2020. [En línea]. Available: <https://www.tp-link.com/ec/service-provider/business-wireless/cpe510/#specifications>. [Último acceso: 05 05 2020].
- [71] amazon, «Rutadores inalámbricos Ac600 de alta potencia para exteriores, router WiFi, punto de acceso, spp, repetidor inalámbrico WiFi Dual Dand 2,4/5Ghz 12Dbi antena Poe,» amazon.com, 24 04 2019. [En línea]. Available: <https://www.amazon.com/-/es/Rutadores-inal%C3%A1mbricos-exteriores-repetidor-inal%C3%A1mbrico/dp/B07R4SKBV9?th=1>. [Último acceso: 05 05 2020].
- [72] YASKAWA GmbH, «VIPA MICRO,» YASKAWA GmbH, Alemania, 2018.
- [73] Siemens AG, «Siemens 6ES7214-1AG40-0XB0,» Siemens AG, Alemania, 2015.
- [74] Schneider Electric, «Ficha técnica del producto TM221CE16T,» Schneider Electric, Francia, 2020.
- [75] Electromecánica MM, «Motor eléctrico trifásico 3 HP,» Electromecánica MM.com, [En línea]. Available: <https://www.electromecanicamm.com.ar/producto/motor-electrico-trifasico-mec-3-hp-750-rpm/1295/>. [Último acceso: 21 04 2020].
- [76] Smart Sensing SENSORVANT, «PS1 Level sensor,» Smart Sensing SENSORVANT, Valencia, 2014.
- [77] Nivus, «Sensor de nivel serie R,» Nivus.com, [En línea]. Available: <https://www.nivus.com/en/products/level-measurement/noncontact-level-measurement/nivusonic-co-flowmeter/r-series/>. [Último acceso: 30 04 2020].
- [78] HACH, «TSS W TriClamp, sensor en línea TriClamp de sólidos en suspensión con rasqueta,» HACH COMPANY, 2020. [En línea]. Available: <https://latam.hach.com/tss-w-triclamp-sensor-en-linea-triclamp-de-solidos-en>

suspension-con-rasqueta/product-details?id=54617302674. [Último acceso: 01 05 2020].

[79] HACH, «Sonda de inmersión Solitax ts-line sc para medida de turbidez (0,001-4000 NTU) y de sólidos en suspensión (0,001-50 g/L), con rasqueta, de acero inoxidable,» HACH COMPANY, 2020. [En línea]. Available: <https://es.hach.com/sonda-de-inmersion-solitax-ts-line-sc-para-medida-de-turbidez-0-001-4000-ntu-y-de-solidos-en-suspension-0-001-50-g-l-con-rasqueta-de-acero-inoxidable/product-details?id=24930072328>. [Último acceso: 01 05 2020].

[80] Mean Well, «MDR-60 series,» Mean Well, Nuevo Taipei, china, 2013.

[81] Fullwat, «Fus-150D-xx Information sheet,» Fullwat, Bilbao, 2010.

[82] Yaskawa, «HMI,» Yaskawa, Japón, 2020.

[83] Siemens, «Hoja de datos 6AV2123-2DB03-0AX0,» Siemens, Múnich, 2018.

[84] Schneider, «HMIST6200 Datasheet,» Schneider, Francia, 2020.

[85] Schenider electric, «Datasheet XB4BS8442,» Schenider electric, Francia, 2019.

[86] Carlo Gavazzi, «Limit Switches - Limit Type Metal Body IP66,» Carlo Gavazzi, Suiza, 2015.

[87] Schneider electric, «Luz piloto 22 mm metalico datasheet,» Schneider electric, Francia, 2020.

[88] T. NOZAKI, Selección del tipo de turbina y de la capacidad del desarenador (considerando el desgaste de la turbina por el material sólido flotante de los río proyectados), Lima: Hidrandina, 1982.

- [89] E. J. R. V. Julio César Cuenca Tinitana, «Propuesta de automatización de las compuertas del canal de riego del ramal de la parroquia limones del cantón Zapotillo.,» Universidad Nacional de Loja, Zapotillo, 2016.
- [90] J. Caniparoli, «Sensores de final de carrera,» 12 diciembre 2012. [En línea]. Available: <https://es.slideshare.net/JavierCaniparoli/sensores-de-final-de-carrera>.
- [91] OMEGA, «Omega Company,» Omega Engineering Company, [En línea]. Available: <https://es.omega.com/prodinfo/sondas-de-nivel-medicion.html>. [Último acceso: 16 07 2019].
- [92] Motorex, «Diferencias entre un motor monofásico y trifásico,» 10 agosto 2017. [En línea]. Available: <http://www.motorex.com.pe/blog/motor-electrico-monofasico-trifasico/>.
- [93] UNED, «Controladores Lógicos Programables (PLCs),» 16 enero 2014. [En línea]. Available:
http://www.ieec.uned.es/investigacion/Dipseil/PAC/archivos/Informacion_de_referencia_ISE6_1_1.pdf.
- [94] SHISSA, «Sistemas de monitoreo y control,» Suministros hidráulicos del sureste S.A., 2017. [En línea]. Available: <https://suhissa.com.mx/sistemas-de-monitoreo/>. [Último acceso: 3 agosto 2019].

ANEXOS

ANEXO 1:

Descripción de eventos de parada de unidades y tiempo de duración.

Tabla 51 Descripción de eventos de parada de unidades y tiempo de duración. [46]

FECHA	UNIDAD	HORA DE SALIDA	HORA DE ENTRADA	Tiempo fuerza de servicio (horas)	Parada (P) Disparo (D)	DESCRIPCION DEL EVENTO
2/7/2019	U 1	8:00	10:46	2:46	P	Limpieza de embalse e instalaciones de captación, por parámetros de río no normalizados
	U 2	8:00	10:47	2:47	P	Limpieza de embalse e instalaciones de captación, por parámetros de río no normalizados
3/7/2019	U 1	8:06	12:41	4:35	P	Limpieza de embalse, tanque de carga, desarenadores y Desripiador, por parámetros de río no normalizados
	U 2	8:06	12:46	4:40	P	Limpieza de embalse, tanque de carga, desarenadores y Desripiador, por parámetros de río no normalizados
6/7/2019	U 1	8:02	14:27	6:25	P	Limpieza de embalse, tanque de carga, desarenadores y Desripiador, por parámetros de río no normalizados
	U 2	8:02	14:33	6:31	P	Limpieza de embalse, tanque de carga, desarenadores y Desripiador, por parámetros de río no normalizados
8/7/2019	U1	5:43	15:28	10:15	P	Palizada y acumulación de escombros y sedimento en rejillas y tanques desarenadores.
	U2	5:43	15:33	9:20	P	Palizada y acumulación de escombros y sedimento en rejillas y tanques desarenadores.
9/7/2019	U1	4:12	16:16	12:04	P	Palizada y acumulación de escombros y sedimento en rejillas y tanques desarenadores.
	U2	4:12	16:21	12:09	P	Palizada y acumulación de escombros y sedimento en rejillas y tanques desarenadores.

10/7/2019	U1	1:49	1:59	0:10	D	Palizada y acumulación de escombros y sedimento en rejillas.
	U2	1:50	2:05	0:15	D	Palizada y acumulación de escombros y sedimento en rejillas
13/7/2019	U1	22:24	00:00	1:46	P	Palizada y acumulación de escombros y sedimento en rejillas
	U2	22:25	00:00	1:45	P	Palizada y acumulación de escombros y sedimento en rejillas
14/7/2019	U1	00:00	1:12	1:12	P	Palizada y acumulación de escombros y sedimento en rejillas
	U2	00:00	1:17	1:17	P	Palizada y acumulación de escombros y sedimento en rejillas
17/7/2019	U1	7:56	17:13	10:43	P	Limpieza de embalse, tanque de carga, desarenadores y Desripiador, por parámetros de río no normalizados
	U2	7:57	17:19	10:38	P	Limpieza de embalse, tanque de carga, desarenadores y Desripiador, por parámetros de río no normalizados
22/7/2019	U1	8:50	18:40	9:50	P	Limpieza de embalse, tanque de carga, desarenadores y Desripiador, por parámetros de río no normalizados
	U2	8:50	18:45	9:55	P	Limpieza de embalse, tanque de carga, desarenadores y Desripiador, por parámetros de río no normalizados
23/7/2019	U1	10:28	16:16	6:12	P	Limpieza de embalse, tanque de carga, desarenadores y Desripiador, por parámetros de río no normalizados
	U2	10:28	16:22	6:04	P	Limpieza de embalse, tanque de carga, desarenadores y Desripiador, por parámetros de río no normalizados
24/7/2019	U1	8:04	13:04	5:00	P	Limpieza de embalse, tanque de carga, desarenadores y Desripiador, por parámetros de río no normalizados
	U2	8:04	13:04	5:00	P	Limpieza de embalse, tanque de carga, desarenadores y Desripiador, por parámetros de río no normalizados
25/7/2019	U1	9:20	14:56	5:36	P	Limpieza de embalse, tanque de carga, desarenadores y Desripiador, por parámetros de río no normalizados
	U2	9:21	15:02	5:41	P	Limpieza de embalse, tanque de carga, desarenadores y Desripiador, por parámetros de río no normalizados

26/7/2019	U1	8:06	10:27	2:21	P	Limpieza de embalse, tanque de carga, desarenadores y Desripiador, por parámetros de río no normalizados
	U2	8:07	10:32	2:25	P	Limpieza de embalse, tanque de carga, desarenadores y Desripiador, por parámetros de río no normalizados
28/7/2019	U1	15:05	17:55	2:50	P	Limpieza de embalse, tanque de carga, desarenadores y Desripiador, por parámetros de río no normalizados
	U2	15:05	18:00	2:55	P	Limpieza de embalse, tanque de carga, desarenadores y Desripiador, por parámetros de río no normalizados
29/7/2019	U1	8:21	17:42	9:22	P	Limpieza de embalse, tanque de carga, desarenadores y Desripiador, por parámetros de río no normalizados
	U2	8:22	17:49	9:28	P	Limpieza de embalse, tanque de carga, desarenadores y Desripiador, por parámetros de río no normalizados

ANEXO 2:

Construcción de maqueta prototipo del sistema de captación de agua de la central hidroeléctrica Río Verde Chico.



Figura 122. Elaboración de maqueta para prototipo de sistema electrónico de monitoreo y control de compuertas de purga del sistema de captación de agua.

Elaborado por: El Investigador.



Figura 123. Elaboración de sistema de ductos para compuertas de purga de desarenadores.

Elaborado por: El Investigador.



Figura 124. Prototipo en funcionamiento del sistema de monitoreo y control de compuertas de purga.

Elaborado por: El Investigador.



Figura 125. Prototipo del sistema de monitoreo y control de compuertas de purga.

Elaborado por: El Investigador.



Figura 126. Prototipo del sistema de monitoreo y control de compuertas de purga en la casa de máquinas de la central hidroeléctrica Río Verde Chico.

Elaborado por: El Investigador.

ANEXO 3:

Programa principal configurado en Raspberry Pi3 para el monitoreo y control del sistema de compuertas de purga.

Programa Main

Librerias de programa

```
import paho.mqtt.publish as publish
import smbus
import RPi.GPIO as GPIO
import time
from Ultrasonico import HCSR04
```

```
GPIO.setmode(GPIO.BOARD)
```

#Indicadores Led

```
A1 = 0x01
C1 = 0x02
A2 = 0x04
C2 = 0x08
A3 = 0x10
C3 = 0x20
A4 = 0x40
C4 = 0x80
busLed = smbus.SMBus(1)
```

#Finales de carrera

```
F1 = 7
F2 = 8
F3 = 11
F4 = 10
F5 = 13
F6 = 12
F7 = 23
F8 = 16
```

#Ultrasonicos

```
UT1 = 15
UT2 = 18
UT3 = 19
UT4 = 22
```

UE1 = 29
UE2 = 31
UE3 = 32
UE4 = 33

#Pulsadores

P1 = 24
P2 = 21

Inicialización de entradas

GPIO.setup(F1, GPIO.IN)
GPIO.setup(F2, GPIO.IN)
GPIO.setup(F3, GPIO.IN)
GPIO.setup(F4, GPIO.IN)
GPIO.setup(F5, GPIO.IN)
GPIO.setup(F6, GPIO.IN)
GPIO.setup(F7, GPIO.IN)
GPIO.setup(F8, GPIO.IN)
GPIO.setup(P1, GPIO.IN)
GPIO.setup(P2, GPIO.IN)
GPIO.setup(UE1, GPIO.IN)
GPIO.setup(UE2, GPIO.IN)
GPIO.setup(UE3, GPIO.IN)
GPIO.setup(UE4, GPIO.IN)

#Inicialización pines de salida

GPIO.setup(UT1, GPIO.OUT)
GPIO.setup(UT2, GPIO.OUT)
GPIO.setup(UT3, GPIO.OUT)
GPIO.setup(UT4, GPIO.OUT)

#Inicialización de ultrasónicos

ultra1 = HCSR04(UT1, UE1)
ultra2 = HCSR04(UT2, UE2)
ultra3 = HCSR04(UT3, UE3)
ultra4 = HCSR04(UT4, UE4)

#Sensores de Turbidez

ADC = smbus.SMBus(1)

Método sensores de turbidez

```
def leeINPUT(X):
    ADC.write_byte_data(0x48, (0x40 + X),X)
    time.sleep(0.2)
    lectura = ADC.read_byte(0x48)
    return lectura
```

#Variables de programa

```
luz = 0
estado = 1
D_1 = 20
D_2 = 16
D_3 = 16
D_4 = 20
D_min = 5
D_max = 10
T_min = 500
T_max = 100
```

#estado de compuertas

```
EC1 = 0
EC2 = 0
EC3 = 0
EC4 = 0
```

#cambiar dirección IP dependiendo la red a la que se haya conectado la raspberry

```
IP = '192.168.100.10'
```

#Inicio de programa

```
while True:
```

#Botón de inicio

```
    while estado == 0:
        luz = 0
        busLed.write_byte(0x21, luz)
        on_push2 = GPIO.input(P2)
        if on_push2 == 0:
            print("On")
            estado = 1
```

Botón de Paro

```
on_push1 = GPIO.input(P1)
if on_push1 == 0:
    print("Off")
    estado = 0
```

```
luz = 0
```

#Medición de distancia

```
distancia1 = ultra1.distance()
if distancia1>D_1:
    distancia1=D_1
else:
    distancia1=distancia1
```

```
distancia2 = ultra2.distance()
```

```
if distancia2>D_2:
    distancia2=D_2
else:
    distancia2=distancia2
```

```
distancia3 = ultra3.distance()
if distancia3>D_3:
    distancia3=D_3
else:
    distancia3=distancia3
distancia4 = ultra4.distance()
```

```
if distancia4>D_4:
    distancia4=D_4
else:
    distancia4=distancia4
```

#Distancia

```
distancia1=D_1-distancia1
distancia2=D_2-distancia2
distancia3=D_3-distancia3
distancia4=D_4-distancia4
```

#Medir Turbidez

```
print("Turbidez")
T1 = (leeINPUT(1))*(1000/255)
```

```
print("T1= {0} D1= {1} D2= {2} D3= {3} D4= {4}".format(T1, distancia1,
distancia2, distancia3, distancia4))
```

#Lectura fines de carrera

```
F1_push = GPIO.input(F1)
F2_push = GPIO.input(F2)
F3_push = GPIO.input(F3)
F4_push = GPIO.input(F4)
F5_push = GPIO.input(F5)
F6_push = GPIO.input(F6)
F7_push = GPIO.input(F7)
F8_push = GPIO.input(F8)
```

#Puerta 1

```
if distancia1 > D_min and T_max > T1:
    EC1 = 1
elif distancia1 < D_min or T1 > T_min:
    EC1 = 0
```

```
if EC1 == 1 and F1_push == False:
    luz = luz +A1
elif EC1 == 0 and F2_push == False:
    luz = luz +C1
```

#Puerta 2

```
if distancia2 > D_min and T_max > T1:
    EC2 = 1
elif distancia2 < D_min or T1 > T_min:
    EC2 = 0
```

```
if EC2 == 1 and F3_push == False:
    luz = luz +A2
elif EC2 == 0 and F4_push == False:
    luz = luz +C2
```

#Puerta 3

```
if distancia3 > D_min and T_max > T1:
    EC3 = 1
elif distancia3 < D_min or T1 > T_min:
    EC3 = 0
```

```

if EC3 == 1 and F5_push == False:
    luz = luz +A3
elif EC3 == 0 and F6_push == False:
    luz = luz +C3

```

#Puerta 4

```

if distancia4 > D_min and T_max > T1:
    EC4 = 1
elif distancia4 < D_min or T1 > T_min:
    EC4 = 0

```

```

if EC4 == 1 and F7_push == False:
    luz = luz +A4
elif EC4 == 0 and F8_push == False:
    luz = luz +C4

```

```

busLed.write_byte(0x21, luz)

```

#Envio de datos al servidor

```

publish.single('Puerta1/distancia',int(distancia1),hostname=IP)
publish.single('Puerta2/distancia',int(distancia2),hostname=IP)
publish.single('Puerta3/distancia',int(distancia3),hostname=IP)
publish.single('Puerta4/distancia',int(distancia4),hostname=IP)
publish.single('Puerta/turbidez',T1,hostname=IP)
time.sleep(0.1)

```

Programa Ultrasonico

```

import RPi.GPIO as GPIO
GPIO.setmode(GPIO.BOARD)
import time

class HCSR04:
    def __init__(self, Trig, Echo):
        self._T = Trig
        self._E = Echo
        GPIO.setup(self._T, GPIO.OUT, initial = 0)
        GPIO.setup(self._E, GPIO.IN)

    def _timing(self):
        GPIO.output(self._T, 1)
        time.sleep(0.00001)
        GPIO.output(self._T, 0)

```

```
startTime = time.time()
stopTime = time.time()
while 0 == GPIO.input(self._E):
    startTime = time.time()
while 1 == GPIO.input(self._E):
    stopTime = time.time()
duration = stopTime - startTime
return duration
```

```
def distance(self):
    duration = self._timing()
    cm = ((duration * 34300) / 2) - 2
    return cm
```