



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

**FACULTAD DE INGENIERÍA EN SISTEMAS, ELECTRÓNICA E
INDUSTRIAL**

CARRERA DE TELECOMUNICACIONES

Tema:

**SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO Y CONTROL PARA LA
PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE “EL CARRIZAL-
SALCEDO” BASADO EN IOT E INTELIGENCIA ARTIFICIAL.**

Trabajo de Integración Curricular Modalidad: Proyecto de Investigación, presentado
previo a la obtención del título de Ingeniero en Telecomunicaciones

ÁREA: Electrónica

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: Tecnologías de comunicación

AUTORES: Contreras Clavijo Saul Alexis

Rojano Mueses Xavier Gonzalo

TUTOR: Ing. Ana Pamela Castro Martin, Mg.

Ambato – Ecuador

marzo - 2023

APROBACION DEL TUTOR

En calidad de tutor del Trabajo de Integración Curricular con el tema: SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO Y CONTROL PARA LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE “EL CARRIZAL-SALCEDO” BASADO EN IOT E INTELIGENCIA ARTIFICIAL, desarrollado bajo la modalidad Proyecto de Investigación por los señores Saul Alexis Contreras Clavijo y Xavier Gonzalo Rojano Mueses, estudiantes de la Carrera de Telecomunicaciones, 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 17 de las segundas reformas al Reglamento para la ejecución de la Unidad de Integración Curricular y la obtención del título de tercer nivel, de grado en la Universidad Técnica de Ambato y sus reformas y el numeral 7.4 del respectivo instructivo del reglamento.

Ambato, marzo 2023.

Ing. Ana Pamela Castro Martin, Mg.

TUTOR

AUTORÍA

El presente trabajo de Integración Curricular titulado: SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO Y CONTROL PARA LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE “EL CARRIZAL-SALCEDO” BASADO EN IOT E INTELIGENCIA ARTIFICIAL es absolutamente original, autentico y personal. En tal virtud, el contenido, efectos legales y académicos que se desprenden del mismo son de exclusiva responsabilidad del autor.

Ambato, marzo 2023.



Saul Alexis Contreras Clavijo
CC. 055063782-1
AUTOR



Xavier Gonzalo Rojano Mueses
CC. 180440947-0
AUTOR

DERECHOS DE AUTOR

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

Cedemos los derechos de nuestro Trabajo de Integración Curricular en favor de la Universidad Técnica de Ambato, con fines de difusión pública. Además, autorizamos su reproducción total o parcial dentro de las regulaciones de la institución.

Ambato, marzo 2023.



Saul Alexis Contreras Clavijo
CC. 055063782-1
AUTOR



Xavier Gonzalo Rojano Mueses
CC. 180440947-0
AUTOR

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

En calidad de par calificador del Informe Final del Trabajo de Integración Curricular presentado por los señores Saul Alexis Contreras Clavijo y Xavier Gonzalo Rojano Mueses, estudiantes de la Carrera de Telecomunicaciones, de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial, bajo la Modalidad proyecto de investigación titulado SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO Y CONTROL PARA LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE “EL CARRIZAL-SALCEDO” BASADO EN IOT E INTELIGENCIA ARTIFICIAL, nos permitimos informar que el trabajo ha sido revisado y calificado de acuerdo al Artículo 19 de las segundas reformas al Reglamento para la ejecución de la Unidad de Integración Curricular y la obtención del título de tercer nivel, de grado en la Universidad Técnica de Ambato y sus reformas y al numeral 7.6 del respectivo instructivo del reglamento. Para cuya constancia suscribimos, conjuntamente con la señora Presidente del Tribunal.

Ambato, marzo 2023.

Ing. Pilar Urrutia, Mg.

PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

Ing. Mg. Geovanni Brito Moncayo
PROFESOR CALIFICADOR

Ing. Mg. Marlon Santamaría Villacís
PROFESOR CALIFICADOR

DEDICATORIA

"Con todo mi amor y gratitud, dedico este trabajo a mi madre Rosario, mi padre Javier y mis hermanos Kerly y Kevin. A mi madre, por ser mi apoyo constante en los momentos difíciles, por su amor incondicional y por enseñarme a ser fuerte. A mi padre, por ser mi guía y mentor, por su sabiduría y orientación, por apoyarme en cada paso del camino. A mis hermanos, por ser mi compañía y mi alegría, por su apoyo y por ser una gran fuente de inspiración en mi vida. Mi vida profesional se los debo a ellos."

Saul

DEDICATORIA

A mi familia, especialmente a mis queridos padres Omaira y Gonzalo, a mi abuela Alicia, quienes han guiado mis pasos a lo largo de mi formación académica y personal. En retribución a sus consejos, su aliento y confianza con cariño y gratitud les ofrezco este logro.

Xavier

AGRADECIMIENTO

"Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a mis padres y familia entera, por su apoyo constante desde mi niñez. Sin su amor y apoyo, no habría llegado a este logro. Mi familia siempre ha sido mi pilar en los momentos difíciles y su amor incondicional es lo que me ha motivado a seguir adelante.

También quiero agradecer a la Ingeniería Ana Pamela Castro, quien fue una guía profesional en la realización de este proyecto. Su orientación y consejos desde el inicio del proyecto fueron fundamentales para el éxito de este trabajo. Gracias por su dedicación y paciencia en guiarme en este camino. Este logro es también suyo."

Saul

AGRADECIMIENTO

A mis padres, mi inspiración y ejemplo a seguir, les agradezco por su amor, comprensión, y su dedicación a mi bienestar; por los valores y principios inculcados que han moldeado la persona que he llegado a ser.

A mis amigos por ser el complemento en el camino apoyándome en todo momento sea de felicidad, tristeza o melancolía ofreciéndome su apoyo, animándome a seguir.

Al alma mater que me permitió formarme en una profesión, a todos los docentes excepcionales por ser una fuente constante de conocimiento e ímpetu, cuyas lecciones han moldeado mi forma de pensar y abordar los desafíos, en especial a la Ing. Ana Pamela Castro por su paciencia, claridad y habilidad para inspirar a sus estudiantes a alcanzar sus objetivos. Por la confianza depositada en nosotros, su fe en nuestras capacidades ha sido una fuerza motivadora para el desarrollo de este proyecto. Este trabajo de integración curricular es el resultado de su dedicación y apoyo incansable. Gracias por ser una parte integral de mi crecimiento profesional. Este logro es también suyo.

Un agradecimiento especial a la municipalidad del cantón Salcedo por su dedicación y compromiso en mejorar la vida de la comunidad a través de proyectos como este, mi sincero agradecimiento por la documentación y la disponibilidad del personal, han sido un factor clave en el éxito de este trabajo. Su contribución ha sido invaluable y altamente apreciada.

Xavier

RESUMEN EJECUTIVO

El tratamiento del agua potable es esencial para garantizar que el agua que consumimos sea segura y libre de contaminantes. El proceso de tratamiento incluye pasos como la coagulación, la floculación, la filtración y la desinfección; que ayudan a eliminar impurezas y microorganismos nocivos.

Se diseñó un prototipo el cual cumple con las funciones de monitorizar variables importantes para el cumplimiento de la normativa (temperatura, caudal, pH, conductancia, turbidez), además del control de bombas y electroválvulas que sirven para controlar el suministro de agua que fluye en cada etapa.

El prototipo se basó en la arquitectura IoT de tres capas. Se utiliza como unidad de procesamiento dos microcontroladores Arduino y ESP8266, los cuales recolectan información de los sensores y envían mediante el protocolo websocket a una base de datos alojado en servidor central en la nube de “Google platform”. El control de electroválvulas y bombas son manejados bajo el protocolo MQTT, permitiendo un control rápido en tiempo real y una dosificación. El diseño del aplicativo web fue diseñado con la combinación del servicio de Grafana y lenguajes de programación como PHP, JavaScript y HTML, para la representación del comportamiento de las variables en función del tiempo. El sistema utiliza un script Python codificado bajo un modelo de machine learning (modelo de regresión polinomial), el cual procesa los datos de temperatura recibidos para calcular el tiempo de inactivación y ejecutar el proceso de dosificación.

El prototipo pasó por las fases de diseño, implementación y validación; que sirvieron para presentar una propuesta final de implementación a nivel industrial utilizando equipos para diseño de arquitecturas de control bajo el concepto de industria 4.0. Propuesta que se basó bajo la arquitectura de la planta de tratamiento “El Carrizal”, que se encuentra operativa actualmente.

Palabras clave: Industria 4.0, IoT, potabilización, inteligencia artificial, cloración.

ABSTRACT

Drinking water treatment is essential to ensure that the water we consume is safe and free of contaminants. The treatment process includes steps such as coagulation, flocculation, filtration, and disinfection; that help to eliminate impurities and harmful microorganisms.

A prototype was designed which fulfills the functions of monitoring important variables for compliance with the regulations (temperature, flow, pH, conductance, turbidity), in addition to the control of pumps and solenoid valves that serve to control the supply of water that flows in each stage.

The prototype was based on the three-layer IoT architecture. Two Arduino and ESP8266 microcontrollers are used as a processing unit, which collect information from the sensors and send it through the websocket protocol to a database hosted in a central server in the "Google platform" cloud. The control of solenoid valves and pumps are managed under the MQTT protocol, allowing rapid control in real time and dosage. The design of the web application was designed with the combination of the Grafana service and programming languages such as PHP, JavaScript, and HTML, for the representation of the behavior of the variables as a function of time. The system uses a Python script coded under a machine learning model (polynomial regression model), which processes the received temperature data to calculate the inactivation time and execute the dosing process.

The prototype went through the design, implementation, and validation phases, which served to present a final proposal for implementation at the industrial level using equipment for the design of control architectures under the concept of industry 4.0. Proposal that was based on the architecture of the "El Carrizal" treatment plant, which is currently operational.

Keywords: Industry 4.0, IoT, purification, artificial intelligence, chlorination.

TABLA DE CONTENIDO

PORTADA.....	i
APROBACION DEL TUTOR	ii
AUTORIA	iii
DERECHOS DE AUTOR	iv
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO	v
Dedicatoria.....	vi
Dedicatoria.....	vii
Agradecimiento.....	viii
Agradecimiento.....	ix
RESUMEN EJECUTIVO.....	x
ABSTRACT.....	xi
CAPITULO I	1
MARCO TEÓRICO	1
1.1. Antecedentes investigativos	1
1.2. Contextualización del problema.....	3
1.3. Fundamentación teórica	5
1.3.1. Importancia del agua	5
1.3.2. Agua potable.....	5
1.3.3. Abastecimiento de agua para potabilización	6
1.3.3.1. Captación de agua cruda	6
1.3.3.2. Línea de conducción	6
1.3.3.3. Planta de potabilización	6
1.3.4. Determinantes de calidad en el agua potable	6
1.3.4.1. Parámetros físicos del agua.....	6
1.3.5. Etapas de una planta de tratamiento de agua potable	9
1.3.8. Cloración por goteo	16

1.3.9.	Operación de cloradores	16
1.3.10.1.	Sistema de lazo abierto	18
1.3.10.2.	Sistema de lazo cerrado	19
1.3.10.3.	Control Inteligente	19
1.3.11.	Arquitectura IoT	20
1.3.12.	Protocolos para IoT.....	20
1.3.11.1.	Protocolos alámbricos para IoT	20
1.3.11.2.	Protocolos inalámbricos para IoT	21
1.3.11.3.	Protocolos de mensajería para IoT cliente servidor.....	21
1.3.12.	Procesamiento de datos.....	25
1.3.12.1.	Edge Computing	25
1.3.12.2.	Fog Computing	25
1.3.12.3.	Cloud Computing.....	26
1.3.13.	Revoluciones industriales	27
1.3.14.	IoT en la industria 4.0	27
1.3.15.	Potabilización en la industria 4.0.....	28
1.3.16.	Machine Learning	29
1.3.16.1.	Aprendizaje no supervisado	29
1.3.16.2.	Aprendizaje supervisado	29
1.3.16.3.	Aprendizaje semi supervisado.	30
1.3.16.4.	Aprendizaje por refuerzo.	30
1.3.17.	Algoritmos de clasificación.	30
1.3.18.	Algoritmos de regresión.....	31
1.3.19.	Proceso de machine learning	31
1.3.19.1.	Recopilación de datos	31

1.3.19.2.	Preparación de datos	32
1.3.19.3.	Selección del modelo	32
1.3.19.5.	Evaluación del modelo.....	32
1.3.20.	Criterios de validación de los resultados	32
1.3.20.1.	Error cuadrático medio	32
1.3.20.2.	Error medio	33
1.3.20.3.	Desviación media absoluta	33
1.3.20.4.	Error estándar múltiple	33
1.3.21.	Servidor.....	34
1.3.21.1.	Servidor Web	34
1.3.21.2.	Servidor FTP.....	34
1.3.22.	Base de datos	34
1.3.22.1.	Bases de datos relacionales.....	35
1.3.22.2.	Bases de datos No Relacionales.....	35
1.3.23.	Conceptos de desarrollo web	35
1.3.23.1.	Front-End	35
1.3.23.2.	Back End.....	35
1.4.	Objetivos	36
1.4.1.	Objetivo General.....	36
1.4.2.	Objetivos Específicos	36
CAPÍTULO II.....		37
METODOLOGÍA.....		37
2.1.	Materiales.....	37
2.2.	Métodos.....	37
2.2.1.	Modalidad de investigación.....	37

2.2.2.	Recolección de información	38
2.2.3.	Procesamiento y análisis de datos	38
2.2.4.	Desarrollo de Proyecto	38
CAPÍTULO III.....		41
RESULTADOS Y DISCUSIÓN		41
3.1.	Análisis y discusión de los resultados.....	41
3.2.	Desarrollo de la propuesta.....	41
3.2.1.	Situación actual de la planta de tratamiento	42
3.2.2.	Parámetros involucrados en el proceso de potabilización.....	53
3.2.3.	Arquitectura IoT propuesta para el prototipo	55
3.2.3.1.	Capa de dispositivos	56
3.2.3.1.1.	Selección de sensores	61
3.2.3.1.2.	Selección de actuadores	67
3.2.3.1.3.	Selección del controlador.....	69
3.2.3.1.4.	Sistema de abastecimiento de energía.....	70
3.2.3.2.	Capa de análisis y procesamiento	87
3.2.3.3.	Capa de aplicación	92
3.2.3.3.1.	Desarrollo de la Interfaz Web de inicio de sesión.....	95
3.2.3.2.	Registro de un Administrador.....	97
3.2.3.3.	Desarrollo de la interfaz web de administrador	98
3.2.3.4.	Sistema de vigilancia y alerta automáticas	106
3.2.4.	Sistema de dosificación de hipoclorito de calcio	113
3.2.4.1.	Calibración de Bomba Peristáltica.....	124
3.2.5.	Algoritmo de inteligencia artificial aplicado a la dosificación de hipoclorito de calcio.....	125
3.2.5.1.	Recolección de datos iniciales	125

3.2.5.2.	Preparación del dataset	126
3.2.5.3.	Análisis de los algoritmos de regresión	128
3.2.5.4.	Evaluación de los algoritmos	130
3.2.5.5.	Desempeño de los algoritmos de regresión (lineal, svr y polinómico)..	134
3.2.5.6.	Selección del grado de regresión polinomial	135
3.2.6.	Diseño de la placa del circuito impreso.....	138
3.2.7.	Diseño de la caja de control.....	140
3.2.8.	Instalación de herramientas y librerías necesarias del prototipo.	142
3.2.9.	Propuesta de implementación a nivel industrial.	149
3.3.	Pruebas de funcionamiento	159
3.3.1.	Nivel de confiabilidad del sistema de potabilización	166
3.3.2.	Generación de reportes de operatividad	168
3.3.3.	Eficiencia del prototipo con relación al sistema actual.	169
3.3.4.	Nivel de conformidad con el sistema propuesto.	172
3.4.	Presupuesto	175
CAPITULO IV		176
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		176
4.1.	Conclusiones	176
4.2.	Recomendaciones.....	177
BIBLIOGRAFÍA		179
ANEXOS		195
Anexo 1: Certificación de la dirección de Agua Potable y Alcantarillado del cantón Salcedo.....		195
Anexo 2: Estudios Plan Maestro Saneamiento de la ciudad de Salcedo		197
Anexo 3: Norma De Calidad Ambiental Y De Descarga De Efluentes: Recurso Agua.....		198

Anexo 4: Medición de cloración matutina.....	201
Anexo 5: Bitácora de cloración diaria	202
Anexo 6: Informe Monitoreo calidad de agua enero 2021	203
Anexo 7: Resultado análisis de agua en base a Tabla 2 Anexo 1 TULSMA	204
Anexo 8: Resultado obtenido de la planta El Carrizal en base a la normativa INEN 1108	205
Anexo 9: Tablas CT	206
Anexo 10: Archivos de programación	209
Anexo 11: Especificaciones sensor de nivel ZP5210	210
Anexo 12: Especificaciones sensor de ultrasónico HC-SR04	211
Anexo 13: Especificaciones sensor de pH SEN0161	212
Anexo 14: Especificaciones sensor de caudal YF-S201C	213
Anexo 15: Especificaciones sensor de turbidez SEN0189	214
Anexo 16: Especificaciones sensor de temperatura DS18B20	215
Anexo 17: Especificaciones sensor de conductividad SEN0101.....	216
Anexo 18: Especificaciones electroválvula AQT15S.....	217
Anexo 19: Especificaciones de la bomba peristáltica KPHM100	218
Anexo 20: Especificaciones cámara IP EZVIZ C3W PRO	219
Anexo 21: Especificaciones de la placa Arduino Mega 2560	220
Anexo 22: Especificaciones de la placa NodeMcu ESP8266.....	221
Anexo 23: Especificaciones del medidor de cloro libre “HANNA INSTRUMENTS”	222
Anexo 24: Toma de muestras de cloro residual.....	223
Anexo 25: Cálculos para obtener la solución madre actual.....	225
Anexo 26: Manual de uso de aplicativo web	227

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 Proceso de coagulación [22].	10
Figura 2 Principio de Floculación [23].	10
Figura 3 Sedimentación en el tratamiento de agua potable [24].	11
Figura 4 Clasificación de las unidades de suministro de cloro [28].	13
Figura 5 Tipos de hipo clorador por gravedad [30].	14
Figura 6 Tipos de difusores [27].	15
Figura 7 Evaporador [27].	16
Figura 8 Diagrama de bloques de un sistema de control de lazo abierto [33].	19
Figura 9 Diagrama de bloques de un sistema de control de lazo cerrado [32].	19
Figura 10 Arquitectura IoT de tres capas [33].	20
Figura 11 Modelo del Servicio Cloud [40]	27
Figura 12 Zonas de abastecimiento de agua para los subsistemas [57].	43
Figura 13 Etapas detalladas del subsistema El Carrizal [57].	45
Figura 14 Sistema de bombeo [57].	47
Figura 15 Bombeo desde captación hasta reservorio San Marcos [57].	47
Figura 16 Perfil Hidráulico Captación-Reservorio San Marcos [57].	47
Figura 17 Perfil Hidráulico Reservorio San Marcos-Planta de tratamiento [57].	48
Figura 18 Reservorio San Marcos [57].	48
Figura 19 Vista Satelital Planta de tratamiento El Carrizal [57].	49
Figura 20 Bandejas de filtración y aireación [57].	50
Figura 21 Piroclásticos finos para filtración de agua [57].	50
Figura 22 Sistema de cloración actual [57].	51
Figura 23 Tanques de reserva subsistema "El Carrizal" [57].	52
Figura 24. Sistema de dosificación actual.	53
Figura 25 Arquitectura IoT de monitoreo y control para el prototipo.	56
Figura 26 Etapas consideradas para automatización.	58
Figura 27 Propuesta Etapa de Bombeo y pretratamiento.	59
Figura 28 Propuesta Etapa de Filtración.	60
Figura 29 Propuesta Etapa de Cloración.	60
Figura 30 Propuesta Etapa de reserva.	61
Figura 31 Datasheet voltajes de salida.	71
Figura 32 Diagrama funcional del proceso de dosificación.	72

Figura 33 Diagrama funcional de cierre y apertura de válvulas de tanques.	72
Figura 34 Diagrama funcional del proceso de bombeo.....	73
Figura 35 Lógica de control filtración.....	79
Figura 36 Lógica de control machine learning.....	80
Figura 37 Lógica proceso de reserva y distribución.	81
Figura 38 Lógica proceso de limpieza	83
Figura 39 Esquema de conexión electrónico.....	84
Figura 40 Esquemático electrónico.	85
Figura 41 Diagrama de flujo esquemas lógicos sensores y actuadores.....	85
Figura 42 Diagramas de flujo esquemas control esp8266.....	86
Figura 43 Archivo PHP de inserción de datos.	87
Figura 44 Directorio raíz proyecto GAD.	90
Figura 45 Codificación inserción datos tabla "cloro".	91
Figura 46 Tabla "cloro" inserción de datos.	91
Figura 47 Creación de una instancia basado en Ubuntu 18.04	93
Figura 48 Firewall tráfico http y https.....	93
Figura 49 Firewall tráfico MQTT y MySQL.	94
Figura 50 Diagrama de distribución de aplicativo web.....	95
Figura 51 Diagrama de secuencia del "log In" back-end.....	96
Figura 52 Ingreso erróneo	97
Figura 53 Registro de credenciales nuevas.	97
Figura 54 Encriptación de clave a "MD5 HASH".	98
Figura 55 Diagrama de Secuencia panel de control web.	99
Figura 56 Opciones de procesado de datos de salida.	100
Figura 57 Ventana inicial panel de control.	100
Figura 58 Interfaz de monitoreo "Sección información de sensores".....	101
Figura 59 Interfaz de monitoreo "Estado de operación".	101
Figura 60 Interfaz de monitoreo "Sección recopilación de datos línea de tiempo".	102
Figura 61 Panel de control ESP8266.....	103
Figura 62 Panel de modo de operación.	103
Figura 63 Control de tanques y estado.	104
Figura 64 Modo de operación manual.....	104
Figura 65 Estado de bombas y nivel de tanque de dosificación.....	105

Figura 66 Control de bombas	105
Figura 67 Procesado de video capturado.....	106
Figura 68 Configuración enrutamiento de redes "Zero-Tier".	107
Figura 69 Enrutamiento de red virtual Zero-Tier.....	107
Figura 70 Codificación Inserción video codificado.	108
Figura 71 Funciones de detección de movimiento EZVIZ.	108
Figura 72 Stream video rtsp	109
Figura 73 Alertas chat bot.	109
Figura 74 Envío de alertas Bot Telegram.....	112
Figura 75 Distintas condiciones desconcertantes en depósitos de agua [99]......	119
Figura 76 Gráfica del CT en función de la temperatura.....	128
Figura 77 Comportamiento del CT en función de la temperatura.....	133
Figura 78 Evaluación de desempeño algoritmos lineal, polinómico y svr.....	134
Figura 79 Tabla cloro MySQL.	137
Figura 80 Esquemático circuito electrónico.....	138
Figura 81 Circuito N°1.....	139
Figura 82 Diseño PCB circuito N°2.....	139
Figura 83 Esquemáticos finales formato impresión.....	140
Figura 84 Implementación circuitos.....	140
Figura 85 Caja de control	141
Figura 86 Implementación del prototipo	142
Figura 87 Creación y configuración de la clave pública.....	143
Figura 88 Servicio activo PHP y apache2.....	144
Figura 89 Python inicio de servicio.....	145
Figura 90 Servicio "Grafana-service" activo.	146
Figura 91 Dashboard principal Grafana service.....	146
Figura 92 Servicio "Mosquito-service" activo.....	147
Figura 93 Configuración conexión remota MySQL.	147
Figura 94 Librerías microcontroladores, instaladas.	148
Figura 95 Sección de librerías PlatformIO.....	149
Figura 96 PLC CPL410 basado en Linux [104].....	151
Figura 97 Siemens ET 200S [105].	151
Figura 98 Sensor de pH de ABB [106].	152

Figura 99 Sensor de turbidez Serie 4690 de ABB [107].	152
Figura 100 Sensor de caudal” AQUAPROBE FEA100” [108].	153
Figura 101 Sensor de temperatura “sensytemp tsp” [109].	153
Figura 102 Sensor de conductividad TB2CS [110].	154
Figura 103 Sensor de nivel lmc7100 [111].	154
Figura 104 Electroválvula mariposa siemens vfl41.350 [112].	155
Figura 105 Bomba peristáltica “flexflo” [113].	155
Figura 106 Propuesta Etapa de Pretratamiento Planta El Carrizal	156
Figura 107 Propuesta Etapa de Filtración Planta El Carrizal	156
Figura 108 Propuesta Etapa de Cloración Planta El Carrizal	157
Figura 109 Propuesta Etapa de Reserva Planta El Carrizal	157
Figura 110 Pirámide de automatización de propuesta.	158
Figura 111 Indicadores de protocolos activos.	159
Figura 112 valores capturados pH, conductancia, temperatura, turbidez y caudal.	160
Figura 113 Tabla datos recolectados por los sensores	162
Figura 114 Highcharts sensores.	162
Figura 115 Sentencia programada para activación de dosificación.	163
Figura 116 Alertas generadas tras la dosificación.	164
Figura 117 Datos almacenados dosificación.	164
Figura 118 Automatización de ejecución de scripts.	165
Figura 119 Envío de comandos MQTT control manual.	165
Figura 120 MQTT subscribe topic, comandos enviados.	166
Figura 121 Alertas de envío de control manual.	166
Figura 122 Filtración de datos por la línea de tiempo de sensorización.	169
Figura 123 Filtración de datos por la línea de tiempo de sensorización.	169

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Sistemas de control de cloradores	17
Tabla 2 Listado de fuentes de agua en uso.....	42
Tabla 3 Cobertura de servicio por sistema de abastecimiento.....	43
Tabla 4 Conformación de la Conducción El Carrizal.....	45
Tabla 5 Ubicación captación de agua para El Carrizal.....	46
Tabla 6 Ubicación Tanque de reserva San Marcos.....	48
Tabla 7 Ubicación Planta de tratamiento El Carrizal.....	49
Tabla 8 Distribución de bandejas de aireación y filtración.....	51
Tabla 9 Tanques de regulación existentes en la planta.....	51
Tabla 10 Criterios evaluados por la TULSMA en el anexo 1 tabla 2.....	54
Tabla 11 Comparación sensor de nivel.....	62
Tabla 12 Comparación sensor ultrasónico.....	63
Tabla 13 Comparación sensor de pH.....	63
Tabla 14 Comparación sensor de caudal.....	64
Tabla 15 Comparación sensor de turbidez.....	65
Tabla 16 Comparación sensor de temperatura.....	66
Tabla 17 Comparación sensor de conductividad.....	66
Tabla 18 Comparación de cámaras Ip.....	67
Tabla 19 Comparación de electroválvulas.....	68
Tabla 20 Comparación Bomba peristáltica.....	69
Tabla 21 Tabla comparativa de microcontroladores.....	69
Tabla 22 Tabla consumo de elementos del sistema.....	70
Tabla 23 Datos iniciales para cálculos caso Simulado.....	113
Tabla 24 Datos distintas preparaciones de solución.....	116
Tabla 25 Porcentaje de inactivación.....	117
Tabla 26 Cálculo tiempo de contacto.....	118
Tabla 27 Factor desconcertante.....	120
Tabla 28 Cálculo de inactivación en base a la temperatura.....	121
Tabla 29 Cálculo de CT caso real requerido.....	122
Tabla 30 Cálculo CT concentraciones 1 y 1.2 mg/litro.....	123
Tabla 31 Cálculo CT concentraciones 1.4 mg/litro.....	123
Tabla 32 Ciclo de trabajo en base al voltaje PWM.....	125

Tabla 33 Cálculo de gotas en base al voltaje promedio PWM.....	125
Tabla 34 Tabla de CT para concentración variable.....	127
Tabla 35 Dataset CT.....	127
Tabla 36 Tabla comparativa de métodos de precisión.	134
Tabla 37 Tabla de precisión de RMSE Y MAE.....	135
Tabla 38 Comparativa de precisión en R2.	135
Tabla 39 Tabla comparativa Grados polinomio.....	136
Tabla 40 Nivel de error grados.....	136
Tabla 41 Especificaciones PLC CPL410 1.	150
Tabla 42 Presupuesto costo de implementación a nivel industrial	159
Tabla 43 Datos recolectados por día, pruebas de funcionamiento 1.....	160
Tabla 44 Datos recolectados por día, pruebas de funcionamiento 2.....	161
Tabla 45 Tabla comparativa valor de CT.....	167
Tabla 46 Comparativa error relativo y fiabilidad de CT.....	168
Tabla 47 Datos a considerar para dosificación.....	170
Tabla 48 Promedio cantidad de solución necesitada.....	170
Tabla 49 Concentraciones calculadas al 6800 ppm.	171
Tabla 50 Calculo duración de solución madre.....	171
Tabla 51 Presupuesto	175

CAPITULO I

MARCO TEÓRICO

1.1. Antecedentes investigativos

La investigación realizada dio como resultado la recolección varias tesis y artículos de investigación referentes al tema abordado “sistema de monitoreo y control de los procesos para el tratamiento de agua potable basado en IoT e Inteligencia artificial, fuentes pertenecientes a repositorios y bibliotecas virtuales.

En el año 2018 Rosa Neezar, de la Universidad tecnológica de Malaysia desarrolló “WATER QUALITY MONITORING SYSTEM WITH IOT”. Este proyecto propuso un método mejorado para proporcionar una detección temprana de contaminantes en el sistema de la planta de tratamiento de agua de Semangar. La solución se basa en el desarrollo de un sistema de alertas, y una base de datos de hoja de cálculo de Google que registra en tiempo real datos de distintos sensores como amoníaco, turbidez y pH. Él método propuesto en este proyecto puede ser utilizado para cualquier planta de tratamiento de agua, tiene un enfoque rentable, ya que, sin cambiar el sistema existente, solo actúa como una característica adicional, basándose en la notificación a través de una aplicación móvil que proporciona al usuario con una notificación cada vez que la lectura de amoníaco está por encima de 2 partes por millón establecida como límite [1].

Wilmer Conde de la Universidad Técnica de Ambato, en 2019 realizó el trabajo de titulación “SISTEMA DE MONITOREO Y CONTROL PARA EL PROCESO DE POTABILIZACIÓN EN LAS JUNTAS ADMINISTRADORAS DE AGUA POTABLE (JAAP)”, donde se centra en una planta de tratamiento de aguas para la potabilización. Describe un sistema con sensores para la recolección de datos, procesamiento de información, y comunicación de los datos conformar una red de sensores inalámbricos (WSN). El tratamiento de datos en tiempo real de la planta de tratamiento de agua fue anexada a las plataformas de IoT, donde se procesa los datos mediante un software libre que facilita el proceso de tratamiento de aguas con estrategia de control y realiza una interfaz gráfica de fácil uso para manipulación para el usuario final [2].

En el año 2021, Bryan Christopher de la Universidad estatal de Pensilvania, presenta un proyecto de investigación: “ADQUISICIÓN DE DATOS PARA EL CONTROL DE LA CALIDAD DEL AGUA”. El proyecto se desarrolla en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (EDAR) donde se diseña un sistema que permite la adquisición de datos para facilitar el control de los sistemas de tratamiento de aguas residuales mejorando así la estabilidad del sistema y obteniendo un ahorro de energía. Dentro de la estructura del sistema se destaca el uso del software de simulación LabVIEW y una tarjeta BeagleBone Inalámbrico para la adquisición de datos de los sensores de pH, temperatura y otras variables más importantes que intervienen dentro de la calidad de agua. Adicionalmente se destaca que el sistema puede servir como base para un futuro sistema de adquisición de datos que admita el control de calidad mediante aprendizaje automático para detectar tendencias y comunicación 5G para monitoreo remoto [3].

En el año 2021 en Tokyo, Wen-Tsai Sung desarrolló el proyecto investigativo “IOTBASED WATER QUALITY MONITORING” donde describe que la contaminación del agua como un problema importante en los últimos años requiriendo su tratamiento mediante un monitoreo constante. Se describe que el propósito de la investigación fue desarrollar un sistema IoT efectivo para monitorear la calidad del agua en tiempo real mediante sensores fisicoquímicos. La implementación se realizó con una placa de desarrollo Arduino que actúa como el microcontrolador del sistema y sensores como turbidez, temperatura, pH, conductividad y sólidos disueltos totales (TDS). La adquisición de datos de calidad del agua se lo realiza mediante sensores que almacenan y transfieren de datos en línea a un servidor para el monitoreo, registro y análisis. Se concluye que el monitoreo en tiempo real de la calidad del agua mediante el uso de Big Data Analytics integrado de IoT ayudará enormemente a las personas a tomar conciencia contra el uso de agua contaminada. La investigación se lleva a cabo enfocándose en monitorear la calidad del agua del río en tiempo real. Por lo tanto, el análisis de Big Data integrado con IoT puede ser una mejor solución ya que se puede proporcionar confiabilidad, escalabilidad, velocidad y persistencia [4].

Lei Li del Instituto de Ciencia y Tecnología inteligente de Shanghai en Junio del 2021, desarrolló “AVANCES RECIENTES EN INTELIGENCIA ARTIFICIAL Y

MACHINE LEARNING PARA ANÁLISIS Y PROCESOS DE RELACIONES NO LINEALES CONTROL EN EL TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE”, donde se usa el algoritmos de aprendizaje autónomo para abordar problemas referentes al tratamiento de agua potable, proporcionando soporte técnico en los diferentes procesos que intervienen en el tratamiento del agua diagnóstico, toma de decisiones autónoma y optimización de procesos. En dicho trabajo se presenta análisis algoritmos de IA con referencia a aprendizaje supervisado y tecnologías de aprendizaje automático en los campos de calidad de agua, coagulación desinfección y filtración por medio de membranas, incluidos monitoreo e identificación de contaminantes de agua, predicción precisa y eficiente de la dosificación de la coagulación. Se concluye que las herramientas de IA y ML muestran un alto rendimiento en el ajuste de relaciones y predicciones complejas en DWT. Estos métodos son capaces de procesar datos con relaciones no lineales que son difíciles de ajustar con un único modelo matemático [5].

1.2. Contextualización del problema

El agua es el recurso natural más abundante del mundo, la importancia de la pureza del agua se debe en gran medida a sus fuentes, afectados por la contaminación, dispendio debido a métodos de transporte, tratamiento y dosificación en el proceso de potabilización; realizadas hasta la actualidad con métodos manuales, sujetos a la capacidad humana para garantizar condiciones de salud e higiene. Por ello, las plantas de potabilización de agua buscan operar con eficiencia y calidad evitando contaminantes en el proceso con los cuales afecten a la pureza del agua tratando de cumplir exigencias de calidad y economía en el uso de agua [6].

En el Ecuador, el crecimiento poblacional y acelerada urbanización, limita el acceso a recursos hídricos; generando en las entidades que proveen el servicio de agua potable, desafíos para mejorar la eficiencia operativa, buscando concientizar a la población sobre el uso irracional del servicio. El acceso al agua potable segura en el Ecuador en 2021 ha llegado al 67,8% de la población, para un 23% el servicio es limitado en calidad y capacidad de respuesta y el 8,8% restante, no tiene acceso al servicio básico [7].

El 59,67% de los habitantes del cantón Salcedo se abastece de la planta “El Carrizal”, ubicada en la parroquia San Miguel, cuyo funcionamiento comenzó en la década de 1970, la cual cuenta principalmente con cuatro tanques de captación del agua provenientes de la vertiente natural “Yanayacu”, recurso que es conducido hacia la planta de tratamiento para su correspondiente dosificación de insumos químicos, eliminando impurezas provenientes de actividades domésticas, procesos agrícolas entre otros residuos propios del caudal [8].

Las presentes plantas de tratamiento operativas en los tres puntos estratégicos de la ciudad de Salcedo cuentan con una infraestructura rancia, manteniendo la mayoría de sus procesos de forma manual hasta la actualidad, ocasionando ineficaces procesos, acción tardía en base a emergencias, ya que al no contar con personal a tiempo completo que garantice la operatividad de la planta, debido a su ubicación los procesos son ejecutados sin un itinerario establecido y sin cantidades exactas para dosificación.

Por lo cual surge la necesidad de renovar los equipos y sistemas, para el monitoreo y control de la planta, basándose en IoT e inteligencia artificial, garantizando su funcionamiento de manera remota en tiempo real teniendo presente su estado sin necesidad de movilizarse a la planta para su administración, obteniendo alertas, reportes de funcionamiento e historiales de las variables controladas [8].

Para lograr mejores resultados, es necesario evolucionar hacia tecnologías innovadoras, eficientes y escalables que combinen infraestructura física, gestión de datos y sistemas automatizados basados en inteligencia artificial para satisfacer las necesidades de la industria con disponibilidad limitada de agua, concentrando esfuerzos en la conservación y gestión del agua [9].

La forma en que se gestionan los recursos ha cambiado con la tecnología, el Internet de las cosas (IoT) permite eficiencia en el seguimiento y control del uso de los recursos

hídricos influyendo en la automatización de la mayoría de sus procesos; con la integración de algoritmos de inteligencia artificial, permite determinar soluciones a condiciones de operatividad no contempladas, basándose en eventos pasados llegando a una predicción para lograr tomar una decisión que permita cumplir con la purificación óptima del recurso hídrico [9].

1.3. Fundamentación teórica

1.3.1. Importancia del agua

El agua juega un papel importante en nuestro planeta y es uno de los principales componentes del medio, cubriendo más del 70% de la superficie terrestre y encontrándose en ríos, mares, lagos, etc. De manera similar, los organismos están más o menos compuestos de agua, siendo el porcentaje promedio de agua del 65 al 70% de la masa total del organismo [10].

El agua utilizada para el consumo humano tiene muchos beneficios para la salud de los seres humanos, ya que ayuda a mantener la temperatura corporal, transportar nutrientes y eliminar productos de desecho del cuerpo. El agua para uso humano debe ser absolutamente segura, no representar ningún peligro para el ser humano, ser apta para el uso previsto que generalmente se le encomienda, sin perjudicar al consumidor final, en especial a lactantes y ancianos, que son el principal objetivo de infecciones provocadas por este recurso. El tratamiento eficaz y adecuado del agua cruda es esencial antes de su distribución a las comunidades para su posterior uso, evitando así enfermedades transmitidas por el agua [11].

1.1.1. Tipos de agua

1.1.1.1. Agua cruda

Es agua que se presenta en la naturaleza y no ha sido tratada o alterada en su estado natural para alterar sus propiedades físicas, químicas o microbiológicas.

La calidad del agua cruda varía según la ubicación geográfica, el origen (superior y subterráneo) y los hábitos de las personas que la rodean [12].

1.3.2. Agua potable

El agua potable es agua que ha sido tratada para cumplir con parámetros físicos, químicos y microbiológicos específicos para atender a la población sin causar

problemas de salud (INEN 1108). Para cumplir con lo anterior, se deben realizar una serie de operaciones y procedimientos unitarios sobre el agua cruda para mejorar sus propiedades sensoriales, físicas, químicas y microbiológicas. Esto incluye detectar la posible contaminación microbiológica o química y aplicar métodos para evitar la contaminación continua [12].

1.3.3. Abastecimiento de agua para potabilización

1.3.3.1. Captación de agua cruda

La recolección de agua cruda ocurre a través de entradas hechas en ríos o represas, preferiblemente en cuencas río arriba [13].

1.3.3.2. Línea de conducción

Consiste en todas las tuberías, estructuras de ingeniería y accesorios destinados a transportar agua cruda desde su fuente, desde los puntos de recolección hasta las plantas de tratamiento y/o tanques de almacenamiento [13].

1.3.3.3. Planta de potabilización

Consiste en estructuras destinadas al tratamiento del agua cruda para hacerla apta para el consumo humano, generalmente mediante procesos fisicoquímicos clásicos enfocados a la remoción de sólidos en suspensión y coloides presentes en el agua. Se integra durante las etapas de floculación, sedimentación, filtración y desinfección [13].

1.3.4. Determinantes de calidad en el agua potable

1.3.4.1. Parámetros físicos del agua

Los parámetros físicos del agua son elementos que impactan directamente en las condiciones perceptibles del agua.

Turbiedad

La turbidez es causada por partículas suspendidas o disueltas en el agua que dispersan la luz y hacen que el agua parezca turbia. Las partículas pueden incluir sedimentos, especialmente arcillas y limos, materia orgánica e inorgánica fina, materia orgánica coloreada soluble, compuestos químicos, algas y otros organismos microscópicos [14].

La alta turbidez en el agua potable actúa como una barrera para las bacterias y otros organismos, evitando que el cloro gaseoso desinfecte el agua de manera efectiva [14].

Los organismos que se encuentran en el agua muy turbia pueden causar síntomas como náuseas, calambres y dolores de cabeza. Con el tiempo, el agua muy turbia puede incluso causar manchas y obstrucciones en las tuberías, comprometiendo la calidad del agua potable y aumentando el riesgo de enfermedades [14].

Temperatura

La temperatura es un factor importante para considerar al evaluar la calidad del agua, ya que, afecta a varios otros parámetros y puede cambiar las propiedades físicas y químicas del agua. En este sentido, se debe tener en cuenta la temperatura del agua a la hora de determinar:

- Tasas metabólicas y producción de fotosíntesis
- Toxicidad de compuestos
- Oxígeno disuelto y otras concentraciones de gases disueltos
- Conductividad y salinidad
- Potencial de reducción de oxidación (ORP)
- pH
- Densidad del agua [14].

Visibilidad

La claridad del agua es una medida de cuán lejos puede penetrar la luz hacia abajo en la columna de agua. El agua clara se caracteriza por una baja concentración de partículas de suelo y/o algas en suspensión, mientras que el agua turbia se caracteriza por una alta concentración de partículas en suspensión que absorben y dispersan la luz, oscureciendo la visibilidad [14].

Sabor y Olor

Es posible que cambie el sabor del agua y que se desarrollen olores como resultado de la introducción de materias extrañas en el agua. Esta materia puede incluir materiales orgánicos, gases disueltos y compuestos inorgánicos. La mayor parte de esta materia se deriva de fuentes agrícolas, naturales y domésticas [15].

Color

El color del agua puede alterarse debido a los materiales que se descomponen a partir de la materia orgánica, entre los que se incluyen principalmente la vegetación. La

materia inorgánica como las rocas, el suelo y las piedras también pueden afectar el color del agua, el verdadero color del agua se puede identificar después de que todos los materiales suspendidos se hayan filtrado del agua [15].

1.3.4.2. Parámetros químicos del agua

Los parámetros químicos influyen dentro del proceso de extracción y eliminación de los microorganismos patógenos existentes en el agua.

pH

El pH es afectado por muchos fenómenos que ocurren en el agua. Puede afectar los procesos de tratamiento del agua, como la coagulación y la desinfección [16].

Los rangos del pH del agua cruda y tratada están entre 5,0 y 9,0. En general, este rango le permite controlar la influencia en el comportamiento de otros componentes del agua. La Norma Técnica Ecuatoriana INEN 1108 ha señalado el rango de pH entre 6,5 y 8,5 para el agua potable [13].

Alcalinidad

La alcalinidad del agua es el resultado de la suma de las concentraciones de hidróxido, carbonato y bicarbonato representadas por el carbonato de calcio; mide la capacidad del agua en la neutralización de ácidos. La alcalinidad se ve afectada por el pH, la temperatura, la fuerza iónica y la composición del agua en general. Este es un parámetro indispensable en el tratamiento del agua ya que reacciona con coagulantes hidrolíticos (sales de hierro o aluminio) durante la coagulación [16].

Dureza

La concentración total de iones de calcio y magnesio presentes en el agua, expresada como carbonato de calcio. La dureza del agua logra ser temporal o permanente, la dureza carbonatada es originada por la presencia de bicarbonato de calcio y bicarbonato de magnesio, la dureza no carbonatada es agua, sulfato, cloruro y es producida por la presencia de nitrato de calcio y nitrato de magnesio [16].

Nitratos y nitritos

El nitrógeno es un nutriente significativo para el crecimiento de plantas y animales. Suele concentrarse en el agua en forma de amoníaco, nitratos y nitritos. Si la fuente de

agua se neutraliza, el nitrógeno se encuentra en forma de nitrógeno amoniacal orgánico, que se oxida a nitritos y nitratos cuando se expone al oxígeno disuelto (OD) [17].

Sulfatos

Los sulfatos son un componente transcendental de las aguas superficiales y nacen de la oxidación de los sulfuros presentes en el agua y pueden surgir del agua que fluye a través de suelos ricos en yeso o de la contaminación de las aguas residuales. Da al agua un sabor extraño, tiene un efecto laxante y puede causar indigestión, principalmente en niños [18].

Cloruros

El ion cloruro es uno de los principales aniones inorgánicos en las aguas naturales y las aguas superficiales no contienen altas concentraciones de cloruro que afecten el sabor. Por encima de cierta concentración, el cloruro actúa como disolvente de algunas sales de agua [19].

Cloro residual

El cloro residual es la cantidad de cloro de bajo nivel que queda en el agua después de un cierto período o tiempo de contacto después de su aplicación inicial. Constituye una protección importante contra el riesgo de contaminación microbiana posterior al tratamiento, un beneficio único y significativo para la salud pública [20].

1.3.5. Etapas de una planta de tratamiento de agua potable

Captación

El agua cruda es agua que se encuentra en el medio ambiente y que no ha sido tratada para eliminar minerales, iones, partículas, bacterias o parásitos. El agua cruda incluye agua de lluvia, agua subterránea, agua de pozos de infiltración y agua de lagos, ríos y otros cuerpos de agua. El agua cruda generalmente no es segura para el consumo humano debido a la presencia de contaminantes. La potabilización del agua empieza con la recolección de dichos afluentes [21].

Coagulación

La coagulación es un proceso de tratamiento químico del agua que se utiliza para eliminar los sólidos del agua mediante el control de la carga electrostática de las partículas suspendidas en el agua. Este proceso introduce moléculas pequeñas

altamente cargadas en el agua para interrumpir la carga de partículas suspendidas, coloides o sustancias aceitosas. Elegir el coagulante adecuado para el sistema mejorará el rendimiento de todo el sistema, en particular al mejorar el rendimiento de los filtros y clarificadores para mejorar la eficiencia de eliminación de sólidos [21].

El proceso de coagulación se muestra en la figura 1.

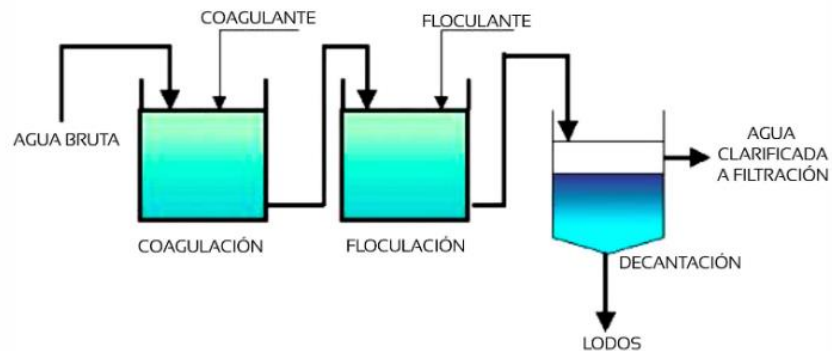


Figura 1 Proceso de coagulación [22].

Floculación

Es un proceso de tratamiento de agua en el que los sólidos forman grumos o grumos más grandes para eliminarlos del agua, este proceso puede ocurrir espontáneamente o con la ayuda de reactivos químicos. Es un método común para el tratamiento de aguas pluviales, tratamiento de aguas residuales y tratamiento de agua potable [21]. El principio de floculación se muestra en la figura 2.

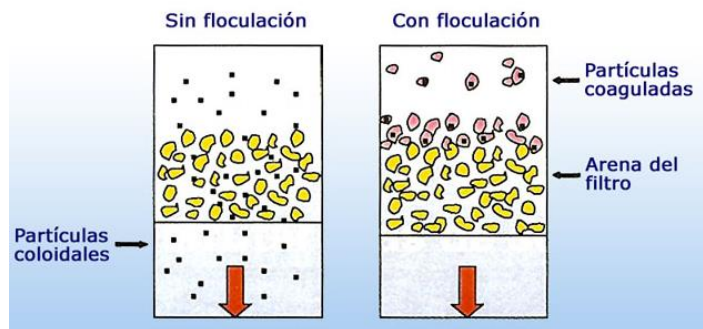


Figura 2 Principio de Floculación [23].

Sedimentación

La sedimentación es uno de los métodos utilizados por los municipios para el tratamiento del agua. Es un proceso de tratamiento físico del agua. La gravedad se

utiliza para eliminar los sólidos en suspensión del agua [21]. La eficiencia depende del tamaño y peso de las partículas. Los sólidos suspendidos con una gravedad específica similar al agua permanecen suspendidos mientras que las partículas más pesadas se asientan. El proceso de sedimentación se muestra en la figura 3.

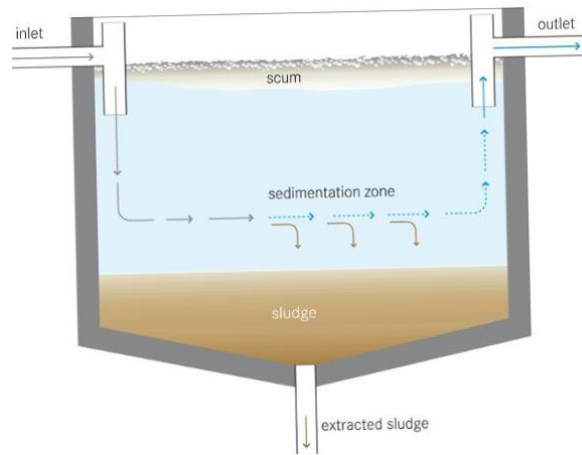


Figura 3 Sedimentación en el tratamiento de agua potable [24].

Filtración

Una vez que los flóculos se han asentado en el fondo, el agua clara de la parte superior se filtra para eliminar los sólidos adicionales del agua. En el proceso de filtración, el agua limpia pasa a través de filtros con diferentes tamaños de poros y hechos de diferentes materiales como arena, grava y carbón. Estos filtros eliminan partículas disueltas y bacterias como polvo, productos químicos, parásitos, bacterias y virus. El filtro de carbón activo también elimina los olores desagradables [21].

Las plantas de tratamiento de agua pueden usar un proceso llamado ultrafiltración para complementar o reemplazar la filtración tradicional. En la ultrafiltración, el agua pasa a través de una membrana filtrante con poros muy pequeños. Solo el agua y otras moléculas pequeñas como la sal y las moléculas pequeñas cargadas pasan a través del filtro [21].

Desinfección

Después de filtrar el agua, la planta de tratamiento de agua puede agregar uno o más desinfectantes químicos (como cloro, cloraminas o dióxido de cloro) para matar cualquier parásito, bacteria o virus restante [21].

Para mantener el agua segura cuando llegue a los hogares y negocios, las plantas de tratamiento de agua se asegurarán de que el agua que sale de la planta de tratamiento tenga niveles bajos de desinfectantes químicos. Este residuo de desinfectante mata las bacterias que viven en las tuberías entre la unidad de tratamiento de agua y el grifo [21].

1.3.6. Parámetros por considerar para la desinfección

Tiempo de contacto

El término "TC" se define como "concentración de desinfectante residual" o "C" multiplicado por "tiempo de contacto efectivo" (es decir, T). Para calcular el tiempo de contacto efectivo suministrado en una planta de tratamiento de agua, se deben tener en cuenta algunas condiciones detalladas a continuación.

- El caudal máximo por hora (típicamente el caudal máximo de la bomba) [25].
- Tanque de almacenamiento, fosa transparente o nivel operativo mínimo recomendado del tanque [25].
- La desconcertante característica del tanque de contacto de cloro [25].
- Residuo mínimo de desinfectante determinado al final de cada segmento de desinfección, o el residuo mínimo de desinfectante permitido en el permiso de operación [25].
- Temperatura mínima del agua que será desinfectada y el pH más alto que el agua sostendrá [25].

Giardia Lamblia

Los parásitos Giardia Lamblia se encuentran tanto en los intestinos humanos como en los animales. Los parásitos minúsculos desarrollan costras gruesas llamadas "quistes" que les permiten persistir fuera del intestino durante meses antes de ser expulsados en las heces [26].

Beber agua insegura (sucia) es la forma más común de contraer Giardia. Los parásitos de Giardia Lamblia se pueden encontrar en fuentes de agua públicas, pozos, cisternas, piscinas, parques acuáticos y spas, así como en lagos, estanques, ríos y arroyos de todo el mundo. Giardia puede

infectar las aguas subterráneas y superficiales a través de la escorrentía agrícola, las descargas de aguas residuales o los desechos animales [26].

Para relacionar las cantidades de inactivación bajo varias configuraciones operativas, se creó el valor TC. Para todos los sistemas de aguas superficiales o subterráneas bajo influencia directa (GUDI), se debe alcanzar un valor de CT que proporcione un mínimo de 0,5 log de Giardia y 2 log de reducción/inactivación de virus, mientras que se debe alcanzar un valor de CT para sistemas de agua subterránea verdaderos que proporcione un mínimo de 4 log de reducción/desactivación de virus. Una fuente de agua superficial puede necesitar más eliminación/desactivación de Crypto y Giardia según el método de tratamiento. Puede ser necesaria la eliminación o inactivación adicional de virus, Cryptosporidium y Giardia si la calidad del agua comienza a deteriorarse significativamente [25].

1.3.7. Metodología para la aplicación de cloro

El cloro se puede aplicar de dos formas diferentes: como gas o como líquido a partir de una solución de cloro. El primero se limita a lugares con mecanismos de seguridad adecuados para detener y gestionar las fugas. Cuando se emplea la forma gaseosa o la forma líquida, se utilizan máquinas llamadas hipo cloradores o cloradores para controlar la dosificación [27].

La clasificación de las unidades de suministro se muestra en la figura 4.

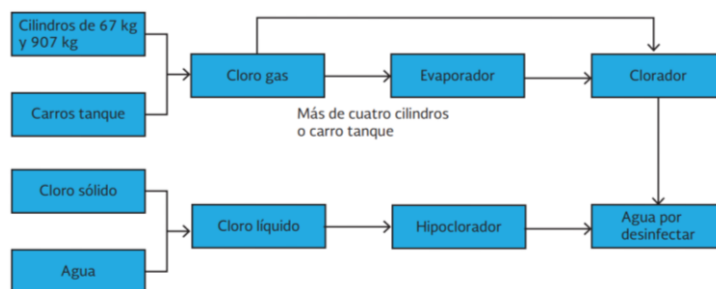


Figura 4 Clasificación de las unidades de suministro de cloro [28].

Aplicación en reservorio por gravedad

Se puede utilizar cualquier producto químico en dosificador de solución que pueda resistir los efectos corrosivos del hipoclorito. Las bombas dosificadoras y los sistemas

de orificio de cabeza constante son los más populares. Para la medición se utilizan rotámetros o las escalas de los equipos de dosificación [27].

Las bombas dosificadoras en uso son bombas de diafragma de desplazamiento positivo o bombas de pistón de diafragma. Debe ser factible calibrar la dosificación en todos estos equipos. Vienen en una variedad de rangos de ajuste, siendo el rango de 10:1 el más popular [27].

Los sistemas de orificio de carga constante son populares en las ciudades pequeñas debido a su bajo costo y al hecho de que funcionan por gravedad. Se pueden producir manualmente, no requieren energía y requieren muy poco mantenimiento para funcionar de forma continua. En grandes sistemas, también se tienen en cuenta como una opción para posibles escenarios de emergencia [29].

Los distintos tipos de hipo clorador por gravedad se muestran en la figura 5.

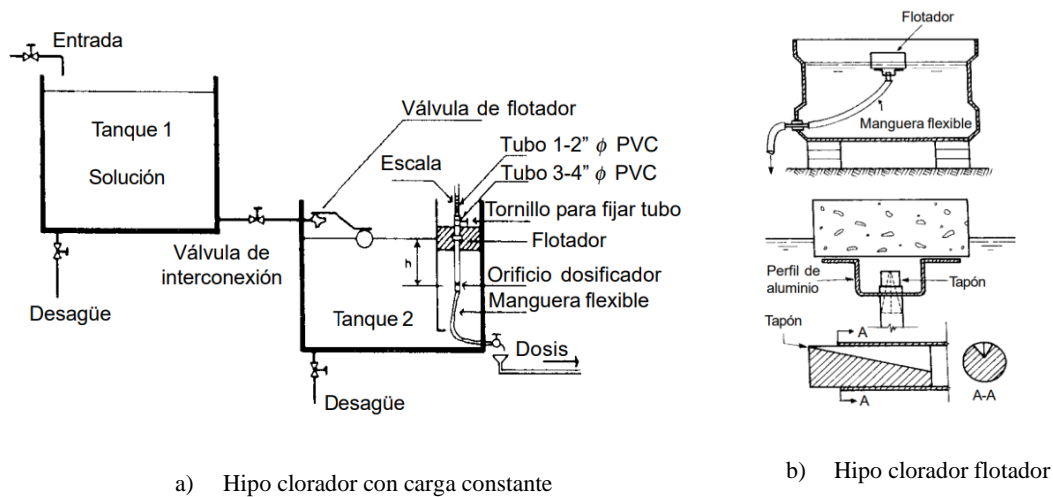


Figura 5 Tipos de hipo clorador por gravedad [30].

Inyección

El cloro se inyecta en una solución acuosa porque es extremadamente difícil disolver un gas presurizado en un líquido sin fugas significativas. El propósito del inyector es proporcionar un vacío para que el gas se disuelva en el agua. Al mantener una densidad constante en estas circunstancias a medida que pasa por el rotámetro, el inyector también tiene el beneficio adicional de facilitar la cuantificación del gas [27].

El difusor a menudo se encuentra dentro de la tubería de suministro de agua filtrada. Cuando llega, un tapón perforado presenta una barrera, creando un flujo turbulento

dentro del mezclador. El cuerpo poroso libera cloro y, como resultado, la turbulencia en la interior crea una combinación eficaz [27].

Difusor

Además, las tuberías u otras áreas donde se mueve el agua se pueden tratar con la solución de cloro. Por la dificultad de provocar una mezcla rápida, nunca en depósitos de almacenamiento. Basado en las pautas provistas para múltiples filtros, fue diseñado. Al utilizar un número de Reynolds alto en la tubería aguas arriba del difusor, se pueden producir turbulencias. Además, los productores ofrecen difusores cerámicos, que cuestan más, pero ofrecen una dispersión de flujo más completa. También puede usar malla de tubo. Se puede usar el mismo tipo de materiales en los canales, pero se debe tener precaución para evitar que se produzcan "vapores de cloro" [27]. El mecanismo de un difusor de cloro mediante tubo perforado se ilustra en la figura 6.

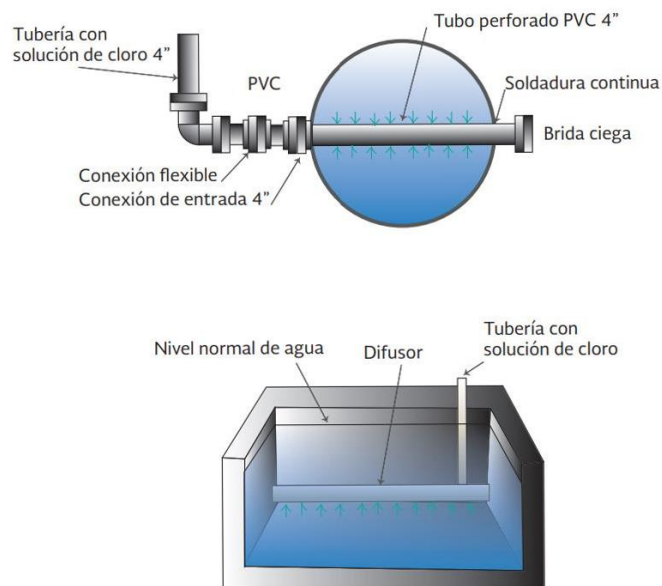


Figura 6 Tipos de difusores [27].

Evaporador

El uso simultáneo de muchos cilindros de cloro (más de seis), acoplados a una misma matriz aductora, es necesario para grandes estaciones de cloración, donde se consumen más de 1.000 kg/día. El equipo que permite eliminar el cloro líquido de los cilindros en lugar del gas generalmente incluye un evaporador porque esto puede generar problemas operativos [27]. El funcionamiento de un evaporador de cloro se muestra en la figura 7.

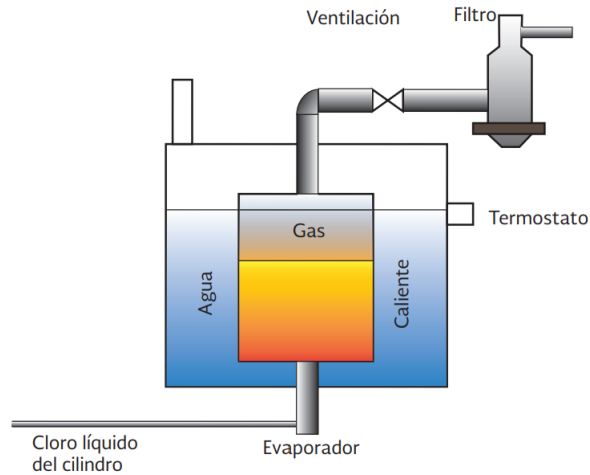


Figura 7 Evaporador [27].

1.3.8. Cloración por goteo

Dosificando continuamente una solución clorada en pequeñas cantidades (en forma de gotas o chorros) en la cámara de cloración o directamente en el depósito, es posible desinfectar el agua potable. El objetivo es desinfectar el agua de forma eficaz y garantizar el nivel de cloro residual libre exigido por la presente norma [31].

Formado por una serie de elementos que permiten conservar y transportar la solución madre desde el depósito de polietileno hasta el depósito, donde se realiza el proceso de desinfección del agua [31].

Tipos

- Por goteo de carga constante con doble recipiente
- Por goteo auto compensante
- Por goteo con flotador
- Por goteo con bomba eléctrica

1.3.9. Operación de cloradores

Dependiendo del modo de operación los cloradores se clasifican en los tipos indicados en la tabla 1.

Tabla 1 Sistemas de control de cloradores

Método	Sistemas de control
Manual	I. Simple con determinación ocasional de cloro residual II. Con analizador permanente y alarmas
Automático	III. Ajuste de dosis proporcional al flujo tratado (circuito abierto) IV. Ajuste de dosis proporcional a la demanda (circuito cerrado) V. Ajuste de dosis proporcional tanto a la demanda como al flujo tratado (circuito compuesto)

Elaborado por los investigadores basado en [27].

Simple con determinación ocasional de cloro residual.

El clorador se ajusta para inyectar una cantidad fija y predeterminada de cloro, la cual se revisa periódicamente para asegurar que sea la adecuada analizando el cloro residual en un laboratorio. Se usa cuando la demanda de cloro y el caudal de la planta no cambian regularmente, permitiendo cambios periódicos simples [27].

Con analizador permanente y alarmas.

Mantiene un registro permanente de la cantidad de cloro que aún está presente, lo que permite el uso de alarmas y tarjetas de registro para alertar a los usuarios cuando una dosificación no es exitosa. Es una especie de monitoreo continuo, pero también implica conocer dos variables: el requerimiento de cloro y el caudal tratado [27].

Ajuste de dosis proporcional al flujo tratado (circuito abierto).

Un "traductor" transforma los datos de presión diferencial registrados en impulsos eléctricos o neumáticos que mueven el mecanismo regulador del clorador y ajustan la cantidad de gas que fluye a través de él. Esta es una técnica de control de bucle abierto. Cuando hay interrupciones frecuentes en el suministro de agua o cambios constantes en el flujo tratado, como ocurre con frecuencia en las estaciones de bombeo de pozos profundos, este método es particularmente práctico porque no hay variaciones abruptas en la demanda [27].

Ajuste proporcional a la demanda (circuito cerrado).

Es un enfoque de control de circuito cerrado en el que se toma una muestra de agua continua y se examina con un medidor de cloro residual de 15 a 30 segundos después

de administrar el cloro. Si se altera o no la tasa de flujo del clorador determinará el resultado. Se recomienda usarlo cuando el precio es esencialmente constante pero la demanda de cloro varía significativamente. Mantener un cierto residuo en tales condiciones puede ser bastante desafiante, especialmente cuando es necesaria la cloración hasta el punto de falla. Dado que es posible configurar y mantener automáticamente una dosis de cloro residual libre o combinado, la única modificación que el operador debe realizar manualmente es por fluctuaciones importantes en el flujo tratado o suspensiones del servicio [27].

Ajuste de dosis proporcional tanto a la demanda de cloro como al flujo tratado (circuito compuesto).

Es un sistema de control en el que el analizador de cloro residual y los diferenciales de presión del sistema de medición trabajan juntos para controlar el orificio de regulación del clorador en respuesta a la demanda. Dependiendo del fabricante, el sistema puede ser eléctrico o neumático. Se recomienda su uso en instalaciones de tratamiento de tamaño considerable donde el flujo y la demanda de cloro están sujetos a fluctuaciones regulares. El equipo funciona de forma completamente automática y la participación del operador es solo necesaria para monitorear el sistema [27].

1.3.10. Sistemas de control

Los sistemas de control es una combinación de subsistemas y procesos que trabajan juntos para obtener un resultado y un rendimiento deseados variando/ajustando la entrada.

Los Sistemas de Control se pueden clasificar de la siguiente manera:

- Sistema de circuito abierto y sistema de circuito cerrado [32].
- Sistemas lineales y no lineales – basados en sus ecuaciones diferenciales [32].
- Sistemas continuos y discretos [32].
- Sistemas variables en el tiempo e invariantes en el tiempo [32].

1.3.10.1. Sistema de lazo abierto

Los sistemas de bucle abierto son sistemas de flujo de señal unidireccional. La salida no se utiliza como variable de control para el sistema y no tiene efecto sobre la entrada ya que estos tipos de sistemas no dependen de su salida debido a que no tiene ningún

tipo de retroalimentación conectada así mismo [32]. El modelo de un sistema de lazo cerrado se ilustra en la figura 8.

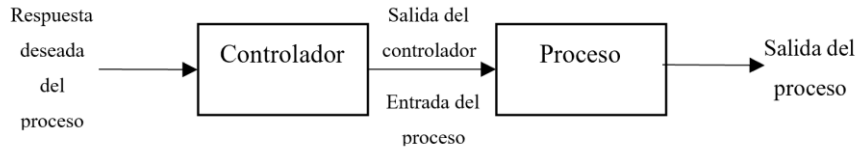


Figura 8 Diagrama de bloques de un sistema de control de lazo abierto [33].

1.3.10.2. Sistema de lazo cerrado

El control de circuito cerrado se diferencia con el control de circuito abierto, donde no existe un mecanismo de autorregulación, utiliza un sistema de retroalimentación o sensor. Es un dispositivo mecánico o electrónico que regula automáticamente un sistema para mantener un estado deseado o punto de referencia sin interacción humana [32]. La figura 9 muestra un diagrama de bloques de un sistema de lazo cerrado

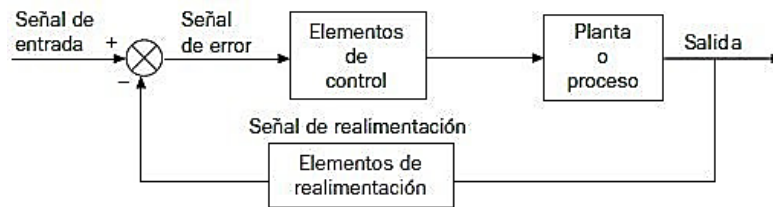


Figura 9 Diagrama de bloques de un sistema de control de lazo cerrado [32].

1.3.10.3. Control Inteligente

El control inteligente es un procedimiento computacionalmente eficiente para dirigir un sistema complejo con una representación incompleta e inadecuada y con especificaciones incompletas de cómo hacerlo en un entorno incierto hacia un objetivo determinado. Emplea varios enfoques informáticos de inteligencia artificial, como redes neuronales, probabilidad bayesiana, lógica difusa, aprendizaje automático, aprendizaje por refuerzo, computación evolutiva y algoritmos genéticos [34].

1.3.11. Arquitectura IoT

El Internet de las Cosas (IoT) es un sistema de interconexión de objetos cotidianos, dispositivos electrónicos y sensores que permite la transmisión de datos sin la necesidad de intervención humana. Existen diversos modelos de arquitectura de IoT, como los de 7 capas, 5 capas o 4 capas, pero en este caso se hará referencia al modelo de 3 capas, que es el más apropiado para cubrir las necesidades del proyecto de investigación [33]. Arquitectura IoT de 3 capas con Edge Computing se describe a continuación:

Capa de dispositivos: Esta capa incluye los sensores y dispositivos IoT que recopilan y transmiten datos.

Capa de fog: Se encarga de procesar los datos en los mismos dispositivos IoT antes de su transmisión a la capa de plataforma. Edge Computing permite una toma de decisiones más rápida y eficiente, además de reducir la cantidad de datos enviados a la nube y mejorar la privacidad y seguridad de los datos [33]

Capa de aplicaciones: Esta capa incluye las aplicaciones y servicios que utilizan los datos recopilados por los dispositivos IoT para obtener información útil y mejorar la toma de decisiones empresariales [33].

La arquitectura descrita del modelo de tres capas se representa en la figura 10.

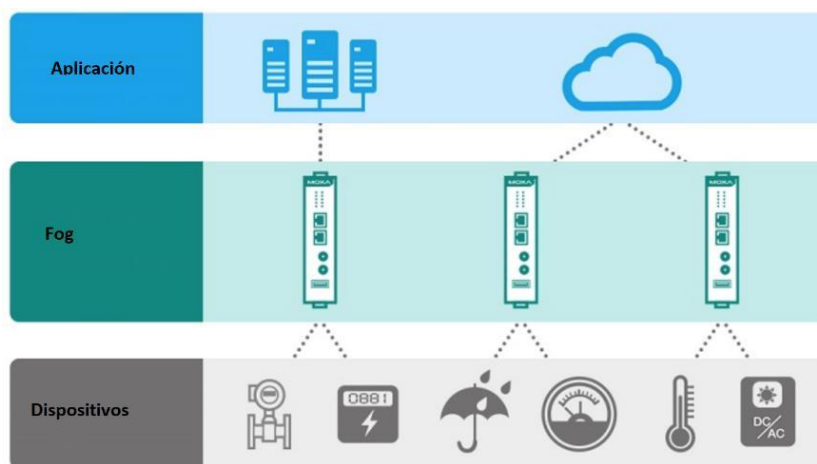


Figura 10 Arquitectura IoT de tres capas [33].

1.3.12. Protocolos para IoT

1.3.11.1. Protocolos alámbricos para IoT

La comunicación empleando un medio guiado se divide en dos categorías:

- Comunicación interna: I2C, SPI [35].
- Comunicación externa: Ethernet, RS-232, RS-485, UART, USART, USB [35].

1.3.11.2. Protocolos inalámbricos para IoT

El protocolo de comunicación inalámbrica es un conjunto común de pautas que utilizan diferentes dispositivos electrónicos para conectarse de forma inalámbrica entre sí, definiendo el alcance de la aplicación IoT se facilita el escoger el protocolo más adecuado para cada aplicación [36].

- Bluetooth
- Bluetooth LE
- ZigBee
- Z-Wave
- 6LoWPAN
- Thread
- WiFi-ah (HaLow)
- 2G (GSM)
- 3G & 4G
- LTE
- 5G
- NFC
- Sigfox
- Lora Wan
- Wireless HART
- Dash7
- Digi Mesh
- RFID

1.3.11.3. Protocolos de mensajería para IoT cliente servidor

La comunicación es el elemento clave que define el Internet de las cosas para la interacción entre sensores, dispositivos, puertas de enlace, servidores y aplicaciones de usuario. Los protocolos de Internet de las cosas (IoT), pueden considerarse como los lenguajes que utiliza el equipo de IoT para comunicarse, permitiendo que todas las cosas inteligentes conversen e interactúen.

MQTT

Permite la comunicación entre nodos en redes confiables y no confiables porque está diseñado para ser liviano y operar en redes de ancho de banda muy bajo. La arquitectura de publicación/suscripción utilizada por MQTT significa que algunos nodos (brokers) son responsables de hacer que la información esté disponible, mientras que otros (clientes) pueden leer la información después de suscribirse yendo a la URL asociada [37].

Protocolo de transferencia de hipertexto (HTTP)

Constituye la columna vertebral de la comunicación de datos a través de la web. Cuando hay muchos datos para publicar, es el protocolo más popular para dispositivos IoT. Sin embargo, el protocolo HTTP no se ve favorecido debido a su costo, duración de la batería, eficiencia energética y otras limitaciones [38].

Protocolo de aplicación restringida (CoAP)

Es un protocolo de transferencia web diseñado para su uso con redes restringidas que tienen poca capacidad disponible. Tiene una arquitectura cliente/servidor, está construido de manera similar a HTTP y es compatible con el paradigma REST. Los clientes pueden enviar solicitudes del tipo GET, POST, PUT y DELETE a los servidores, lo que hace que los recursos sean accesibles a través de una URL [37].

La entrega no está asegurada porque los canales de comunicación de CoAP son 1:1 y están basados en UDP. CoAP está diseñado para funcionar en redes con muchos nodos que no siempre están en línea y tienen bajos niveles de inteligencia [37].

Servicio de distribución de datos (DDS)

DDS utiliza un modelo de publicación y suscripción similar a MQTT, con la principal excepción de la ausencia de intermediarios. Indica que todos los suscriptores y los editores están vinculados a la misma red. La red Global Data Space (GDS) conecta cada nodo con todos los demás nodos para evitar cuellos de botella [37].

WebSocket

La tecnología WebSocket, que está relacionada con el protocolo HTTP, crea una conexión TCP entre un navegador y un servidor y luego les permite comunicarse de un lado a otro hasta que se cierra la conexión [37].

Protocolo de cola de mensajes avanzado (AMQP)

AMQP se desarrolló inicialmente para entornos financieros en lugar de aplicaciones IoT. Los tipos de solicitud/respuesta y las arquitecturas de publicación/suscripción son compatibles con AMQP. Debido a que está basado en TCP, la entrega y el reconocimiento están asegurados, lo que hace que este protocolo sea confiable y la confiabilidad del mensaje general que sigue [37].

Protocolo extensible de mensajería y presencia (XMPP)

El lenguaje de marcado extensible (XML) es la base de este programa. El protocolo utilizado para intercambiar mensajes XML es de código abierto, descentralizado y seguro. La forma en que se identifican y direccionan los nodos es una de las características distintivas de XMPP [37].

Arquitectura unificada OPC (OPC UA)

Fuertemente enfocado a proporcionar compatibilidad entre fabricantes, sistemas operativos y lenguajes de programación, es un estándar diseñado para la comunicación industrial. En general, OPC UA es un protocolo independiente del transporte que admite las dos arquitecturas populares anteriores: publicación/suscripción y solicitud/respuesta como WebSocket, HTTP o MQTT [37].

1.3.12. Procesamiento de datos

Es el proceso de recopilar datos y convertirlos en información útil, esto se aplica a todas las tareas involucradas en la transformación de datos sin procesar en información procesable y utilizable, ya sea que dicha información se obtenga de dispositivos conectados a servicios independientes o dependientes de algún tipo de servicio en la nube o dispositivos conectados remotamente en una red local [39].

Este es un paso importante en cualquier proceso ya que facilita la toma de decisiones y aumenta el valor de la información disponible. Estos datos se utilizan para mejorar los procesos comerciales y tomar decisiones estratégicas [39].

1.3.12.1. Edge Computing

Edge computing procesa los datos más cerca de donde se generan, con mayor velocidad y capacidad, lo que se traduce en mejores resultados basados en operaciones en tiempo real. Tiene algunas ventajas únicas sobre el modelo tradicional donde el poder de cómputo se concentra en los centros de datos locales [39].

1.3.12.2. Fog Computing

Está enfocado a explotar los desafíos duales de la proliferación de dispositivos informáticos y las oportunidades de datos que crean estos dispositivos al colocar ciertos recursos y transacciones en el borde de la red y al colocarlos más cerca del dispositivo, en lugar de crear un túnel en la nube para usarlos y almacenarlos, los

usuarios pueden aumentar el ancho de banda en los puntos de acceso, como los enrutadores [39].

Esto, a su vez, reduce los requisitos generales de ancho de banda, ya que se pueden transferir menos datos fuera del centro de datos, a través de canales en la nube y a largas distancias [39].

1.3.12.3. Cloud Computing

La computación en la nube es la entrega de servicios informáticos, incluidos servidores, almacenamiento, bases de datos, redes, software, análisis e información a través de Internet ("la nube") para permitir una innovación más rápida, recursos flexibles y economías de escala. Por lo general, solo paga por los servicios en la nube que usa, lo que lo ayuda a reducir los costos operativos, administrar infraestructura de manera más eficiente y escalar a medida que cambian las necesidades del proyecto a ejecutarse [39].

Las principales ventajas del Cloud Computing están:

- **Costos:** La computación en la nube elimina los costos de capital asociados con la compra de hardware y software y la configuración y el funcionamiento de un centro de datos en el sitio las 24 horas del día [39].
- **Velocidad:** La mayoría de los servicios de computación en la nube son de autoservicio y bajo demanda, por lo que incluso los recursos informáticos masivos se pueden aprovisionar en minutos, a menudo con unos pocos clics del mouse [39].
- **Productividad:** La computación en la nube elimina la necesidad de muchas de estas tareas, lo que permite que los equipos de TI dediquen tiempo a objetivos comerciales más importantes [39].
- **Rendimiento:** Los principales servicios de computación en la nube operan en una red global de centros de datos seguros que se actualizan periódicamente con la última generación de hardware informático rápido y eficiente [39].

Los modelos de servicios Cloud basado en tres niveles, se muestran en la figura 11.

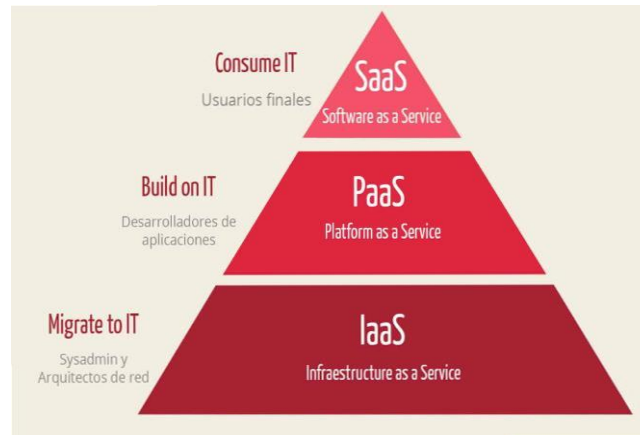


Figura 11 Modelo del Servicio Cloud [40]

1.3.13. Revoluciones industriales

- **Primera Revolución Industrial.** La máquina de vapor hizo posible desarrollar nuevas técnicas industriales y establecer fábricas 1760.
- **Segunda Revolución Industrial.** Desarrollada en 1860 basado en la producción en masa en nuevos sectores como electricidad, acero y petróleo; con innovaciones como la bombilla y el teléfono.
- **Tercera Revolución Industrial.** La computadora personal, los semiconductores e Internet se inventaron durante esta época, también conocida como la "Revolución Digital", que comenzó en 1960.
- **Cuarta Revolución Industrial.** La combinación de los mundos físico, digital y biológico relaciona, avances tecnológicos en impresión 3D, ingeniería genética, computación cuántica, Internet de las cosas (IoT), robótica e inteligencia artificial (AI). Las distinciones entre los dominios físico, digital y biológico se están poniendo a prueba, revolucionando industrias globales enteras. La tecnología como la nube, el análisis de big data y el Internet de las cosas (IoT) se utilizan en las fábricas para permitir una comunicación sofisticada y efectiva entre muchos participantes y elementos vinculados en un proceso de fabricación [41].

1.3.14. IoT en la industria 4.0

El Internet de las cosas (IoT) en la industria, comúnmente conocido como IoT industrial, es el uso de sensores inteligentes y sistemas automatizados que permiten

aumentar la productividad de las operaciones industriales en varios niveles. Implica unir sistemas, dispositivos y máquinas comerciales a través de una arquitectura de red para que puedan interactuar, recopilar datos y realizar análisis en tiempo real de esos datos. Cuando se usa IoT en el lugar de trabajo, las personas, las máquinas y los datos colaboran para brindar valor agregado [42].

Con la ayuda de datos en tiempo real, IoT se enfoca continuamente en mejorar el proceso industrial. Con la ayuda de herramientas informáticas de última generación, se busca mejorar los procesos de investigación y desarrollo. La red inteligente, la fabricación totalmente autónoma, la gestión de materiales, la recopilación de datos, la logística de almacenes, la gestión de la cadena de suministro mejora la eficacia operativa, la inteligencia de seguimiento de productos y la seguridad industrial [43].

1.3.15. Potabilización en la industria 4.0

Se ha demostrado que es ventajoso automatizar procedimientos y maquinaria en instalaciones utilizando tecnologías modernas. La integración exitosa de la tecnología digital reduce los costos operativos y agiliza los procesos. Además, mejora la forma en que se trata y distribuye el agua [44].

Las instalaciones de agua tienen una mayor demanda para abastecer a una población en crecimiento. La mayoría de ellos hace uso de infraestructura y sistemas de distribución obsoletos. En la industria 4.0 se combinan varias tecnologías compatibles. Las soluciones digitales se complementan para aumentar la eficiencia de las instalaciones de agua [44].

Los datos son el componente esencial de la inteligencia artificial (IA) y el aprendizaje automático (ML) en la Industria 4.0. Las empresas utilizan los datos para mejorar el rendimiento, gestionar los activos y mejorar los procesos [44].

Analizando la calidad del agua en tiempo real, buscando tener un control centralizado sobre el personal y los recursos hídricos móviles; eliminando el agua no facturada usando medidores inteligentes y detectores de fugas, lo que ahorrará costos operativos y aumentará los ingresos [44].

1.3.16. Machine Learning

De manera similar a cómo el cerebro humano adquiere conocimientos e ideas, el aprendizaje automático se basa en entradas como datos de entrenamiento y gráficos de conocimiento para comprender entidades, dominios y las conexiones entre ellos. Una vez que se identifican las entidades, puede comenzar el aprendizaje profundo.

Hay varios métodos de entrenamiento de ML para elegir, entre los cuales se enlistan los siguientes:

- aprendizaje no supervisado.
- aprendizaje supervisado.
- aprendizaje semi supervisado
- aprendizaje por refuerzo

1.3.16.1. Aprendizaje no supervisado

Los métodos no supervisados son algoritmos que se entrenan en una colección de datos sin etiquetas o clasificaciones que han sido predefinidas. Es decir, no se conoce a priori ningún objetivo categórico o numérico o valor de clase. El aprendizaje no supervisado se utiliza para agrupar tareas, también conocidas como agrupamiento o segmentación, donde el objetivo es identificar grupos de datos que son similares entre sí [45].

Las dos categorías principales de técnicas o algoritmos de agrupamiento son:

1. Enfoques jerárquicos, que dan como resultado una organización jerárquica de las instancias del conjunto de datos, lo que permite muchos niveles de agrupación.
2. Enfoques no jerárquicos o particiones, que producen grupos de instancias que defienden todas las formas de organización jerárquica.

1.3.16.2. Aprendizaje supervisado

Los algoritmos para el aprendizaje supervisado aprenden de una colección de datos de entrenamiento que ya han sido etiquetados. Al etiquetar, reconocemos que somos conscientes del valor del atributo de objetivo de cada instancia para el conjunto de datos de entrenamiento. Como resultado, el algoritmo podrá "aprender" una función que puede pronosticar el atributo de destino para un nuevo lote de datos. Estas son las dos familias significativas de algoritmos supervisados:

- Las técnicas de regresión se utilizan cuando se debe predecir un atributo numérico como resultado.
- Cuando un atributo categórico representa el resultado a predecir, se utilizan técnicas de clasificación.

1.3.16.3. Aprendizaje semi supervisado.

La combinación del aprendizaje supervisado y no supervisado es el aprendizaje automático semi supervisado. Utiliza grandes cantidades de datos no etiquetados y pocos datos etiquetados, combinando las ventajas del aprendizaje supervisado y no supervisado sin las dificultades asociadas con encontrar una gran cantidad de datos etiquetados. Por lo tanto, no necesita utilizar tantos datos de entrenamiento etiquetados al entrenar un modelo para etiquetar datos [46].

1.3.16.4. Aprendizaje por refuerzo.

El aprendizaje por refuerzo es una técnica en la que las recompensas se asocian con las diversas etapas que el modelo debe seguir. Por lo tanto, el objetivo del algoritmo es acumular tantos puntos de recompensa como sea posible y, finalmente, llegar a un destino. El aprendizaje por refuerzo se puede entender fácilmente comparándolo con un videojuego. El objetivo de un algoritmo de aprendizaje por refuerzo es determinar la siguiente respuesta correcta que lo llevará al siguiente paso del proceso, al igual que el objetivo del jugador en los videojuegos es determinar la siguiente acción que le otorgará una recompensa y lo llevará a la siguiente etapa. el siguiente nivel en el juego [46].

1.3.17. Algoritmos de clasificación.

Un modelo de clasificación predice variables de salida discretas, como etiquetas o categorías, aproximando una función de mapeo a partir de variables de entrada. En los algoritmos de clasificación, la función de mapeo se encarga de predecir la etiqueta o categoría de las variables de entrada proporcionadas. Tanto las variables discretas como las de valor real se pueden usar en un proceso de clasificación, pero aún necesita que las instancias caigan en una de al menos dos clases [47].

1.3.18. Algoritmos de regresión

Los métodos de regresión predicen un valor continuo utilizando las variables de entrada. Estimar una función de mapeo basada en las variables de entrada y salida es el objetivo principal de los problemas de regresión. Se debe utilizar un modelo de regresión si la variable objetivo es un número, como ingresos, calificaciones, altura o peso, o una probabilidad, como la posibilidad de que llueva en un área determinada [47].

Tipos de regresión

Existen variantes de la regresión entre las más importantes podemos enlistar las siguientes:

- **Lineal:** involucra una variable predictora y una variable dependiente que están linealmente relacionadas, es decir usa la línea de mejor ajuste a los datos presentados [48].
- **Polinomial:** modela conjuntos de dato no lineales utilizando un modelo de tipo lineal, asemejándose al modelo lineal múltiple [48].
- **Lineal múltiple:** Predice una variable de respuesta de tipo cuantitativa a partir de dos o más variables cuantitativas [48].
- **Regresión logística:** La regresión logística utiliza una curva sigmoidea para mostrar la relación entre el objetivo y las variables independientes [48].
- **Regresión de cresta:** Se denomina técnica de regularización y se utiliza para reducir la complejidad del modelo. Al introducir un pequeño sesgo llamado "penalización de regresión de picos", el modelo es menos propenso a sobre ajustarse usando la matriz de sesgo [48].
- **Regresión de lazo:** Similar a la regresión de cresta, la regresión de lazo es otra técnica de regularización que reduce la complejidad del modelo. Esto se hace rechazando el tamaño absoluto de los coeficientes de regresión [48].

1.3.19. Proceso de machine learning

1.3.19.1. Recopilación de datos

Es importante recopilar datos confiables para que los modelos de aprendizaje automático puedan encontrar los patrones correctos. La calidad de los datos ingresados

en la máquina determina la precisión del modelo. Si tiene datos incorrectos o desactualizados, obtendrá resultados incorrectos o predicciones inapropiadas [49].

1.3.19.2. Preparación de datos

Limpiar los datos para deshacerse de información innecesaria, valores faltantes, valores duplicados, filas y columnas, conversión de tipos de datos, etc. Tratar de comprender la estructura de los datos y las conexiones entre las muchas variables y clases a las que pertenecen visualizando los datos [49].

1.3.19.3. Selección del modelo

Un modelo de aprendizaje automático define los resultados obtenidos después de ejecutar un algoritmo de aprendizaje automático sobre los datos recopilados. Es importante elegir un modelo que sea apropiado para la tarea y el tipo de datos numéricos o categóricos [49].

1.3.19.4. Entrenamiento del modelo

El entrenamiento es la fase más importante del aprendizaje automático. Inserta los datos preparados en modelos de aprendizaje automático seleccionados para encontrar patrones y hacer predicciones. Esto obliga al modelo a aprender de los datos para realizar la tarea. Con el tiempo, el modelo mejora sus predicciones a través del entrenamiento [49].

1.3.19.5. Evaluación del modelo

Después de entrenar el modelo, se debe probar su rendimiento. Esto se hace probando el rendimiento del modelo en datos nunca vistos. Esto proporciona una precisión aún mayor [49].

1.3.20. Criterios de validación de los resultados

1.3.20.1. Error cuadrático medio

El error cuadrático medio o desviación cuadrática media es una de las métricas más utilizadas para evaluar la calidad de los pronósticos. Muestra qué tan lejos está la predicción del valor real medido usando la distancia euclidiana [50].

El RMSE se representa por la siguiente ecuación:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (Y_i - \hat{Y}_i)^2} \quad (1)$$

Donde Y_i = Valor real de la variable independiente.

\hat{Y}_i = Valor calculado de la variable independiente.

N = Cantidad total de datos utilizados.

1.3.20.2. Error medio

MAE es una medida de la precisión de la modelo dada en la misma escala que el objetivo de predicción. Esto se puede interpretar como el error promedio que tienen las predicciones del modelo en comparación con los objetos reales correspondientes [50].

$$MAE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (Y_i - \hat{Y}_i)^2} \quad (2)$$

Donde

Y_i = Valor real de la variable independiente.

\hat{Y}_i = Valor calculado de la variable independiente.

N = Es el número de puntos de datos no faltantes.

1.3.20.3. Desviación media absoluta

La desviación absoluta media (MAD) es una medida de variabilidad que representa la distancia promedio entre las observaciones y su media. Otorgando una idea sobre la variabilidad en un conjunto de datos [51].

El MAD se representa por la ecuación siguiente:

$$MAD = \frac{\sum |X_i - \bar{X}|}{n} \quad (3)$$

Donde Y_i = Valor real de la variable independiente.

\hat{Y}_i = Valor calculado de la variable independiente.

N = Cantidad total de periodos usados.

1.3.20.4. Error estándar múltiple

El error estándar múltiple es una medida de dispersión de la predicción del conjunto de datos [52].

Se representa por la siguiente ecuación:

$$EEM = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{(N-k-1)}} \quad (4)$$

Donde Y_i = Valor real de la variable independiente.

\hat{Y}_i = Valor calculado de la variable independiente.

N = Cantidad total de datos utilizados.

k = Número total de variables independientes.

1.3.21. Servidor

Un servidor es un dispositivo de software o hardware que acepta y responde a las solicitudes realizadas a través de la red de internet. El dispositivo que realiza la solicitud y recibe una respuesta del servidor se lo considera como cliente [53].

1.3.21.1. Servidor Web

Un servidor web contiene todos los elementos de un sitio web, utilizando como lenguajes de programación HTML, CSS, JS, imágenes y archivos, junto con los dominios que son la URL de la página web específica [54].

Servidor web estático: Esta es la designación que se le da tanto al servidor HTTP que responde a los protocolos de solicitud de datos como a las computadoras que contienen la información que el usuario está buscando. Los archivos solicitados se envían almacenados independientemente de cualquier error, que es como obtuvieron su nombre [54].

Servidor web dinámico: un servidor web dinámico tiene una base de datos y un servidor de aplicaciones para alojar archivos basados en solicitudes de cambio de URL a través de un servidor HTTP [54].

1.3.21.2. Servidor FTP

FTP (que significa "Protocolo de transferencia de archivos"), es una forma de transferir archivos a cualquier computadora en el mundo que esté conectada a Internet [54].

1.3.22. Base de datos

Una base de datos es un conjunto de datos almacenados en una computadora bajo un servicio de almacenamiento. Estos datos generalmente están estructurados de una manera que los hace fácilmente accesibles. Existen principalmente dos modelos de bases de datos [55].

1.3.22.1. Bases de datos relacionales

Una base de datos relacional es una recopilación de información que constituye puntos de datos con relaciones definidas para facilitar el acceso. En este tipo de modelo las estructuras de datos incluidas las tablas de datos, los índices y las vistas permanecen separadas de las estructuras de almacenamiento físico, lo que permite a los administradores de bases de datos editar el almacenamiento de datos físicos sin afectar la estructura de datos lógicos [55].

1.3.22.2. Bases de datos No Relacionales

La base de datos no relacional, o también llamada base de datos NoSQL a diferencia del tipo de base de datos relacional, se evidencia la ausencia de tablas, filas, claves principales o claves externas. La base de datos no relacional utiliza un modelo de almacenamiento optimizado para requisitos específicos del tipo de datos que se almacenan [55].

1.3.23. Conceptos de desarrollo web

Antes del diseño de sitios web, además de tener un dominio y elementos diseñados mediante los principales de lenguaje de diseño web, se debe tomar en cuenta dos tipos de conceptos que son Front-End y Back-End, que cada una cuenta con características únicas que son usadas según el requerimiento del diseñador para ofrecer diferentes funciones [56].

1.3.23.1. Front-End

Todo lo que se ve en un sitio web, como botones, enlaces, animaciones y más. El front-end es tomar la visión y el conocimiento de diseño del cliente e implementarlo a través del código [56].

1.3.23.2. Back End

El desarrollo de back-end se centra en el desarrollo del lado del servidor. Enfocándose en las bases de datos, secuencias de comandos, arquitectura de sitios web. Contiene actividades detrás de escena que ocurren al realizar cualquier acción en un sitio web.

El código escrito en back-end ayuda a los navegadores a comunicarse con la información de la base de datos [56].

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General

Desarrollar un sistema inteligente de monitoreo y control para la planta de tratamiento de agua potable “El Carrizal-Salcedo” basado en IoT e inteligencia artificial

1.4.2. Objetivos Específicos

- Diagnosticar la situación actual de los procesos de la planta de tratamiento de agua “El Carrizal” del cantón Salcedo.
- Diseñar la arquitectura lógica y física a emplear en el sistema de monitoreo y control de potabilización.
- Implementar un sistema de control de dosificación mediante inteligencia artificial.
- Realizar pruebas de validación y desempeño del sistema implementado.

CAPÍTULO II

METODOLOGÍA

2.1. Materiales

Para el desarrollo del sistema inteligente de monitoreo y control para la planta de tratamiento de agua potable “El Carrizal” se implementó un prototipo que representa los procesos de tratamiento de agua a escala recreando en cinco depósitos plásticos cada etapa del proceso de potabilización. La primera etapa de pretratamiento recoge todas las variables necesarias para administrar la dosificación de cloro siendo pH, turbidez, conductividad, temperatura; para ser interpretados por el microcontrolador Arduino, y sean enviados de forma inalámbrica usando una NODEMCU ESP8266 hacia la base de datos. Empleando tuberías de PVC de media pulgada, pasa al segundo contenedor correspondiente a la etapa de filtración, llegando al tercer tanque destinado a la desinfección; donde se administra una dosis de la solución concentrada de cloro desde el cuarto contenedor. Culminando en el depósito de reserva, donde el agua pasara hacia la red o desecho. Para el paso entre contenedores se emplea electroválvulas, operadas en base al proceso de potabilización y mediante detección de nivel por parte del sensor flotador o el sensor ultrasónico buscando solucionar posibles desbordes. Todos los datos son visibles desde una pantalla LCD colocada para acceso del operario, además de estar disponibles desde la interfaz web donde se tiene acceso hacia el monitoreo de cámaras IP mediante las cuales se visualiza los recintos pertenecientes a la planta de tratamiento.

2.2. Métodos

2.2.1. Modalidad de investigación

Investigación Bibliográfica

El presente proyecto es una investigación bibliográfica, debido a que se obtuvo de fuentes documentales, sobre procesos automatizados para plantas de tratamiento de agua potable, mediante la aplicación IOT para la automatización de los procesos; indagando en fuentes bibliográficas como, artículos, trabajos de investigación de posgrado y pregrado asociados al tema propuesto.

Investigación de campo

Es investigación de campo porque se realizó el estudio de la estructura de la planta de tratamiento para el análisis respectivo del requerimiento de cada sistema, para su respectiva automatización y control basado en una arquitectura IoT integrado a inteligencia artificial, lo cual permitió la adquisición de datos para el análisis y control respectivo por parte del personal.

Investigación Aplicada

Se realizó una investigación aplicada, en base a los conocimientos adquiridos de acuerdo con el programa establecido y propuesta de implementación de un sistema IoT con aprendizaje supervisado (ML), para la automatización y control automático de los procesos de tratamiento de agua potable en la localidad de Salcedo.

2.2.2. Recolección de información

Para la obtención de información referente para el desarrollo, se realizó un análisis del procesamiento de fuentes bibliográficas de fuentes como libros, tesis, revistas anexadas, artículos científicos que se encontraron relacionados con la implementación de arquitecturas IoT y machine learning para el tratamiento de agua potable mediante sensores inalámbricos.

2.2.3. Procesamiento y análisis de datos

Para el procesamiento y previo análisis de datos se enlistan las actividades que ayudaron para el desarrollo del proyecto:

- Interpretación de la información.
- Selección de tecnología acorde a las necesidades para emplearse para el sistema de monitoreo y control.
- Despliegue de pruebas piloto en ambientes controlados
- Control y verificación de los datos obtenidos mediante el despliegue de pruebas piloto.
- Presentación de resultados.

2.2.4. Desarrollo de Proyecto

Tema: Sistema inteligente de monitoreo y control para la planta de tratamiento de agua potable “El Carrizal-Salcedo” basado en IoT e inteligencia artificial.

Objetivo General: Desarrollar un sistema inteligente de monitoreo y control para la planta de tratamiento de agua potable “El Carrizal-Salcedo” basado en IoT e inteligencia artificial.

Objetivo Especifico	Actividades
Diagnosticar la situación actual de los procesos de la planta de tratamiento de agua “El Carrizal” del cantón Salcedo.	<ul style="list-style-type: none">• Determinación de la eficiencia del sistema actual de la planta de tratamiento de agua del cantón Salcedo.• Indagación de información de los parámetros físicos y químicos relacionados con el proceso de potabilización del agua.
Diseñar la arquitectura lógica y física a emplear en el sistema de monitoreo y control de potabilización.	<ul style="list-style-type: none">• Delimitación de los procesos que requieren monitorización y control en el proceso de potabilización del cantón Salcedo.• Identificación de la viabilidad tecnológica para escoger las variables a medir y controlar en el proceso de potabilización.• Definición de la arquitectura IoT a utilizar en el sistema.• Establecimiento del método de comunicación inalámbrico acorde a los requerimientos del entorno.• Selección sensores y actuadores en referencia al modelo IoT para planta de tratamiento de agua potable.• Análisis de los algoritmos de inteligencia artificial para el control de dosificación de sustancias químicas empleadas en el proceso de potabilización.

Implementar un sistema de control de dosificación mediante inteligencia artificial.

- Codificación y enlace de datos de los sensores, con una base de datos alojado dentro de un servidor.
- Programación del algoritmo de inteligencia artificial para el control de dosificación de sustancias para la desinfección del agua.
- Desarrollo de una interfaz de usuario para la gestión del prototipo de monitorización y control del agua potable.
- Diseño de un sistema de vigilancia remoto y generación de alarmas automáticas

Realizar pruebas de validación y desempeño del sistema implementado.

- Validación del funcionamiento del sistema inteligente de monitoreo y control para la planta de tratamiento de agua potable.
- Evaluación del sistema de control mediante inteligencia artificial y el nivel de confiabilidad del sistema de potabilización
- Generación de reportes de operatividad en relación con las variables monitoreadas y controladas.
- Análisis comparativo de la eficiencia del prototipo con relación al sistema actual.
- Determinación del nivel de conformidad de los operarios de la planta con respecto al sistema de prototipo para la monitorización y control de potabilización de agua.
- Elaboración del informe final

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Análisis y discusión de los resultados

El desarrollo del prototipo de monitoreo y control basado en IoT e inteligencia artificial, constituye una herramienta para garantizar la desinfección del agua y que esta sea apta para el consumo humano. Tras un proceso de recolección de datos de variables únicas en el caso de cada planta de tratamiento como: temperatura, pH, conductancia, caudal y turbidez; de los cuales, deriva la cantidad de procesos que debe atravesar el agua; así como los lineamientos considerados en la etapa de desinfección para la dosificación de hipoclorito de calcio mediante una bomba peristáltica y aplicando un modelo de regresión polinomial se determina el tiempo de contacto y concentración del agente desinfectante en base a las condiciones marcadas por los valores CT para la inactivación de los quistes de Giardia por cloro libre, definido en reservorio para que usando electroválvulas se distribuya de la red hacia los hogares.

Los actuadores mencionados funcionan en base a los datos recolectados y procesados por una unidad de control alojada en un servidor Ubuntu en la nube de “Google platform”, que son basadas en lenguajes de programación Python, PHP, JavaScript y HTML.

Con todo esto optimiza recursos en el proceso de tratamiento de agua potable de la planta “El Carrizal” de la ciudad de Salcedo, garantizando la calidad del agua que llega a la población.

3.2. Desarrollo de la propuesta

El sistema tiene como finalidad garantizar la calidad del agua la planta de tratamiento “El Carrizal”, ofrecida por la municipalidad de Salcedo hacia los usuarios, mediante sensorización se adquiere valores de temperatura, pH, conductividad, caudal, conductividad, turbidez y nivel de los tanques, valores enviados hacia una base de datos para su almacenamiento, procesamiento y posterior presentación al usuario en una interfaz gráfica alojada en la nube desde la que se puede obtener histogramas dinámicos y reportes en tiempo real de los parámetros monitoreados; permitiendo

controlar el flujo del agua dentro de la planta, desde el bombeo hasta el paso de un depósito a otro usando electroválvulas. Con los parámetros monitoreados y mediante un algoritmo de regresión polinomial se aproxima la dosis de hipoclorito de calcio necesaria, así como del tiempo de acción necesaria del agente desinfectante con el agua cruda, necesitando solamente de la preparación diaria de solución madre.

Disminuyendo los procesos de control que considera costos adicionales y tiempo de los operarios de la planta, obteniendo niveles de cloración dentro de la normativa INEN 1108, garantizando la calidad del agua para el consumo humano de la población.

3.2.1. Situación actual de la planta de tratamiento

Generalidades

El servicio de agua potable es operado, mantenido y administrado por GAD Municipal del Cantón Salcedo, acorde a lo establecido plan de “Estudios de evaluación, diagnóstico y diseños definitivos del sistema de agua potable y alcantarillado sanitario y pluvial de la ciudad San Miguel de Salcedo” ilustrado en el anexo 2.

El sistema de distribución existente está conformado por tres subsistemas, denominados, San Lizardo, Tohailín y Carrizal, donde, cada uno de ellos dispone de su propia captación y planta de tratamiento [57]. La ubicación y caudal adjudicado a cada subsistema se detalla en la tabla 2.

Tabla 2 Listado de fuentes de agua en uso.

Subsistema	Coordenadas de ubicación			Caudal adjudicado (litros/seg)
	Latitud	Longitud	Altitud (msnm)	
Tohailín	1°04'08.6684"S	78°30'12.1594 "O	2965	22,00
San Lizardo	0°58'15.4783 "S	78°36'40.1333 "O	2700	12,58
El Carrizal	1°03'31.3669 "S	78°33'20.3033 "S	2617	85,00

Elaborado por los investigadores basados en [57].

El Municipio está encargado del sistema de abastecimiento de agua a la población de Mulliquindil, para lo cual se deriva un caudal de 5 litros/seg de la conducción de agua

cruda que proviene de la captación Tohailín, esta agua es conducida hacia la planta de tratamiento denominada Ilimpucho, para su posterior distribución [57].

La demanda agua de la ciudad, se satisface con tres puntos de captación con los mismos nombres que los subsistemas correspondientes: San Lizardo, Tohailín y Carrizal, el caudal captado es llevado mediante conducciones de PVC, Hierro dúctil y acero hacia las plantas de tratamiento, donde se ubican los tanques de reserva, para su posterior distribución hacia la ciudad, mediante tuberías de PVC y remanentes de asbesto – cemento [57]. En la figura 12 se muestra la trayectoria del agua desde su punto de captación hasta su planta de tratamiento, así como la cobertura de este en el cantón.

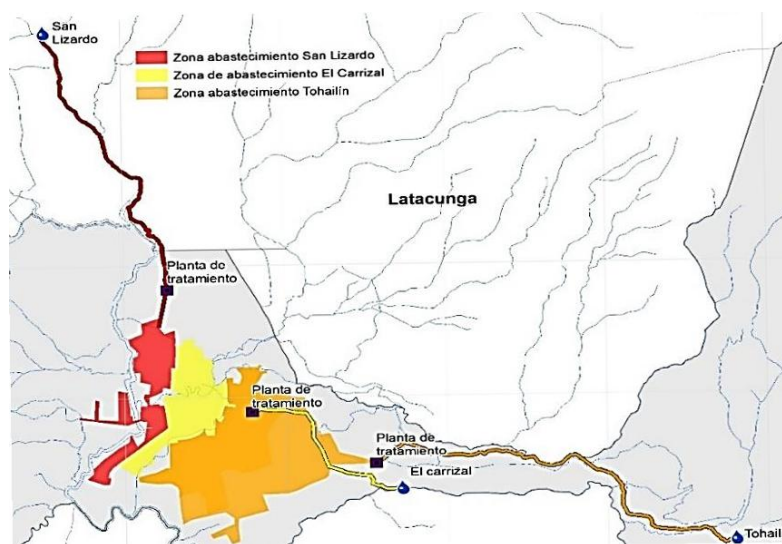


Figura 12 Zonas de abastecimiento de agua para los subsistemas [57].

Cobertura de la población por subsistema

En la tabla 3 se detalla el porcentaje de población a la que cada subsistema abastece, siendo El Carrizal el de mayor tamaño.

Tabla 3 Cobertura de servicio por sistema de abastecimiento.

Subsistema	Porcentaje	Población 2017	Población 2042
San Lizardo	15,88	2111	3441
Carrizal	59,67	7933	12931
Tohallin	24,46	3252	5300

Elaborado por los investigadores basados en [57].

Subsistema San Lizardo

Este subsistema permite abastecer de agua potable a la zona oeste de la ciudad, incluyendo a una parte del barrio Argentina el cual se encuentra en el margen derecho del río Cutuchi. Para ello, se utiliza el agua captada de la vertiente denominada San Lizardo, la cual se encuentra en el margen derecho de la quebrada del mismo nombre, el punto de captación se ubica al sur de la ciudad de Latacunga en el sector denominado Tiobamba [57].

El caudal captado se conduce hacia la planta de tratamiento ubicada al ingreso norte de la ciudad de Salcedo, mediante una tubería de PVC E/C, de diámetro 200 y 160 mm, en una longitud total de 6.62 km aproximadamente [57].

Subsistema Toallin

Este subsistema permite abastecer de agua potable al área sur oriente de la ciudad, para ello se utiliza el agua captada de la vertiente denominada Toahilín, la cual se encuentra en la margen derecha de la quebrada Galuya [57].

El caudal captado se conduce hacia la planta de tratamiento denominada Bellavista mediante una tubería de PVC de 250, 200 y 160 mm, en una longitud 8 km aproximadamente. Posterior al tratamiento el agua es almacenada en dos tanques de regulación de 600 y 50 m³. Parte del agua cruda captada, se deriva hacia la planta de tratamiento de Ilimpucho, la cual permite abastecer de agua a los habitantes de Mulliquindil [57].

Subsistema Carrizal

El subsistema Carrizal permite abastecer de agua potable al área de mayor concentración poblacional de la ciudad, para ello se utiliza el agua captada de la vertiente denominada Carrizal, la cual se encuentra en el margen derecho del río Yanayacu [57].

El agua captada se conduce hacia un tanque de almacenamiento ubicado a una distancia de 140 m mediante una tubería de acero de 16 pulgadas, donde existe una estación de bombeo que permite elevar el agua hacia el tanque San Marcos a través de una línea de impulsión de 1.3 km, compuesta de la siguiente manera: 626 m con tubería

de PVC de diámetro 315 mm, 351 metros de 16” y 309 m de 10” en tubería de acero [57].

El agua que se almacena en el tanque San Marcos se conduce hacia la planta de tratamiento para ser tratada y almacenada en tres tanques de regulación de 700, 500 y 300 m³ [57].

La estructura del subsistema El Carrizal se muestra en la figura 13.



Figura 13 Etapas detalladas del subsistema El Carrizal [57].

Para llevar el caudal captado hacia la planta de tratamiento denominada El Carrizal, existen tres tramos de conducción, que se muestran en la tabla 4.

Tabla 4 Conformación de la Conducción El Carrizal.

Tramo	Tipo de Conducción	Punto de Inicio	Punto Finalización	Longitud [m]
T-1	Gravedad	Captación	Cisterna	150
T-2	Impulsión	Cisterna	Tanque San Marcos	1300
T-3	Gravedad	Tanque San Marcos	Planta de Tratamiento	2020

Elaborado por los investigadores basados en [57].

Tramo 1: Captación - Estación de Bombeo

El tramo es el de menor longitud y corresponde a la conducción entre la captación y la cisterna donde se almacena el caudal para ser bombeado hacia el tanque denominado San Marcos, ubicado en el sector de Anchiliví. La tubería se desarrolla en una longitud de 150 m, en tubería de acero de diámetro 16", la altura geométrica entre la cota de inicio (2616 msnm) y la cota de llegada (2615.40 msnm) y la pendiente es del 5% [57].

Captación

La fuente de abastecimiento denominada El Carrizal, aprovecha las aguas captadas de un afloramiento de agua que se presenta en la margen derecha del río Yanayacu [57].

La ubicación de la fuente de agua está delimitada en la tabla 5.

Tabla 5 Ubicación captación de agua para El Carrizal.

Cantón	Sector	Coordenadas		Altitud (msnm)
		Latitud	Longitud	
Salcedo	Extremo Sur de la provincia	1°03'32.339"S	78°33'24.71"O	2647

Elaborado por los investigadores basados en [57].

De acuerdo con el documento de concesión la fuente de agua dispone de 140 litros/seg, de los cuales existe una concesión de 9.82 litros/seg a la Junta Administradora Regional Sur del cantón Salcedo, 7.87 litros/seg para la Comunidad San Marcos; y se concede un caudal de 85 litros/seg permanentes para consumo humano a la Municipalidad del cantón Salcedo, sin embargo, el sistema de bombeo existente impulsa aproximadamente un caudal de 55 litros/seg hacia el tanque de San Marcos y partir de este punto se conducen 61.8 litros/seg hacia la planta de tratamiento denominada El Carrizal [57].

Estación de Bombeo

La estación de bombeo está compuesta por 5 bombas de diferentes características hidráulicas y mecánicas, ilustradas en la figura 14.



Figura 14 Sistema de bombeo [57].

La salida desde la casa de máquinas hacia el tanque de Reserva ubicado a 1,3 Km se ilustra en la figura 15.



Figura 15 Bombeo desde captación hasta reservorio San Marcos [57].

Tramo 2: Estación de Bombeo – Tanque San Marcos

Este tramo de conducción se desarrolla en una longitud de 1300 metros. Atravesando una depresión intermedia desde la captación ilustrado en el perfil topográfico de la figura 16.



Figura 16 Perfil Hidráulico Captación-Reservorio San Marcos [57].

La conducción está conformada por tres tipos de tuberías en todo su trayecto, el tramo inicial tiene una longitud de 13 metros de 10” en acero, posteriormente en 350m el diámetro se incrementa a 16”, a partir de este punto el diámetro disminuye nuevamente

a 10” los siguientes 310 metros, donde finalmente se cambia el tipo de tubería a PVC con un diámetro nominal de 315mm [57].

Tanque San Marcos

En la tabla 6 se enlista los datos de la ubicación del tanque San Marcos.

Tabla 6 Ubicación Tanque de reserva San Marcos.

Cantón	Sector	Coordenadas		Altitud
		Latitud	Longitud	
Salcedo	Anchiliví	1°03'17.902"S	78°34'00.10"O	2739

Elaborado por los investigadores basados en [57].

Tramo 3: Tanque San Marcos – Planta El Carrizal

Este tramo se refiere a un tramo de conducción que funciona empleando gravedad comprendiendo una distancia de 2020 metros, mostrado en la figura 17.

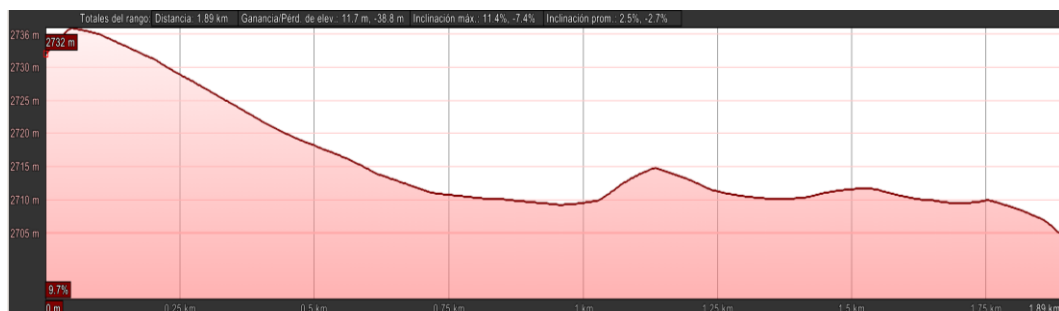


Figura 17 Perfil Hidráulico Reservoirio San Marcos-Planta de tratamiento [57].

Al estar ubicado en una zona rural el tanque de San Marcos no presenta ninguna infraestructura de protección o delimitación, su estado se puede evidenciar en la figura 18.



Figura 18 Reservoirio San Marcos [57].

Planta de Tratamiento

La planta de tratamiento se ubica en el sector de bellavista en cercanía al cementerio municipal muy cercano al centro de la ciudad, su ubicación se detalla en la tabla 7.

Tabla 7 Ubicación Planta de tratamiento El Carrizal.

Cantón	Sector	Coordenadas		Altitud [msnm]
		Latitud	Longitud	
Salcedo	Bellavista	1°02'31.615"S	78°34'45.95"O	2705

Elaborado por los investigadores basados en [56].

La planta se divide en dos recintos, el primero en el que están todas las etapas de tratamiento y un tanque de reserva, la segunda separada por una parcela intermedia por debajo del primer recinto donde se ubican dos tanques de reserva. La distribución de la planta se muestra en la figura 19.



Figura 19 Vista Satelital Planta de tratamiento El Carrizal [57].

En este punto la conducción llega a la planta de tratamiento de agua potable que antes para ingresar a la planta de tratamiento está regulada por válvula de control de acero de 350 mm. El agua cruda pasa al proceso de aireación y filtrado en bandejas de acero inoxidable con piroclásticos finos, dividiendo el caudal en dos partes [57].



Figura 20 Bandejas de filtración y aireación [57].

Debido al estado actual de los filtros piroclásticos se encuentran en desuso esto se ilustra en la figura 21, ya que han generado organismos vegetales haciendo inseguro su uso necesitando de renovación.



Figura 21 Piroclásticos finos para filtración de agua [57].

Pasando por dos columnas de 8 bandejas cada una respectivamente, la dimensión de cada bandeja es de la parte superior a inferior es, considerando una separación entre cada una de 48 centímetros [57]. Las dimensiones detalladas de todas las bandejas se indica en la tabla 8.

Tabla 8 Distribución de bandejas de aireación y filtración.

Numero de bandeja	Dimensiones		
	Largo[cm]	Ancho[cm]	Alto [cm]
1	100	100	0,23
2	120	100	0,23
3	139	100	0,23
4	158	100	0,23
5	177	100	0,23
6	196	100	0,23
7	215	100	0,23
8	234	100	0,23

Elaborado por los investigadores basados en [57].

Esta agua cae en una bandeja de hormigón recubierta con baldosas la cual mediante tubería va a un tanque de 70 metros cúbicos en donde realiza la dosificación de cloro y distribución hacia los tanques de reserva [57].



Figura 22 Sistema de cloración actual [57].

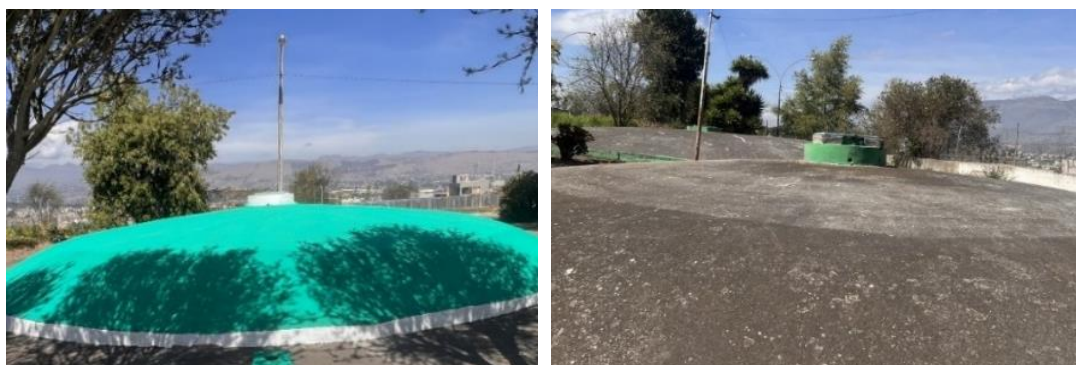
Las capacidades de cada tanque se detallan en la tabla 9, siendo C-1 el tanque ubicado en la primera parte de la planta mientras los dos restantes ubicados en la segunda parte.

Tabla 9 Tanques de regulación existentes en la planta.

Denominación	Volumen m3
C-1	500
C-2	700
C-3	200

Elaborado por los investigadores basados en [56].

Los tanques de los dos recintos se muestran en la figura 23.



a) Tanque C-1.

b) Tanque C-2 y C-3.

Figura 23 Tanques de reserva subsistema "El Carrizal" [57].

Situación Actual de Cloración

El proceso de desinfección usado actualmente es una solución apresurada al defectuoso sistema con cloro gaseoso, que, debido a problemáticas de mantenimiento y operación, ha sido retirado regresando a un sistema de cloración por goteo operado de manera manual por un operario de la planta.

En la actualidad se aplica 10 lb de Hipoclorito de Calcio al 68% disuelto en 500 litros de agua cruda que compone la solución madre; dicha solución es preparada de forma matutina.

Mediante un conducto la solución pasa a un medidor de caudal ilustrado en la figura 24 literal a, con el cual se dosifica la cantidad de cloro que pasará al tanque reservorio como se muestra en la figura 24 literal b, donde sin emplear ningún tiempo de contacto; el agua pasará directamente hacia la red de distribución para consumo de los habitantes del cantón Salcedo.



a) Medidor de caudal.



b) Deposito de solución madre.

Figura 24. Sistema de dosificación actual.

Elaborado por los investigadores

En base al anexo 8, donde se plasma el resultado de una muestra de agua tratada por la planta “El Carrizal”, en el cual se verifica que el sistema actual arroja un valor de cloro residual in situ inferior al estipulado por la normal INEN 1108; debido a falencias propias de la inoperancia humana, aplicando dosis de desinfectante erróneas, generando desperdicio de agua por la deficiente metodología de dosificación de hipoclorito de calcio, haciendo del agua no segura para consumir, ya que de hacerlo se presentarían afecciones medicas en la población.

3.2.2. Parámetros involucrados en el proceso de potabilización

Evaluación del agua en etapa de captación

Las aguas para consumo humano y uso doméstico, que únicamente requieran de desinfección deberán cumplir la norma de calidad ambiental y de descarga de afluentes perteneciente al Texto unificado de legislación secundaria de medio ambiente (TULSMA), situación del agua cruda que ingresa a la planta de potabilización “El Carrizal” cuyo reporte se detalla en la tabla del anexo 7.

En la tabla 10 se detalla el informe de resultados obtenidos en la captación de Carrizal.

Tabla 10 Criterios evaluados por la TULSMA en el anexo 1 tabla 2.

Parámetro	Unidades	Resultado	Límite Máximo Permissible
Aceites y Grasas	mg/litro	< 0,1	0,3
Arsénico	mg/litro	< 0,0005	0,05
Bario	mg/litro	< 1,0	1,3
Cadmio	mg/litro	< 0,001	0,001
Cianuros	mg/litro	< 0,010	0,01
Cobre	mg/litro	< 0,005	0,005
Coliformes Fecales	NMP/100ml	< 1,0	50*
Color	U. Pt-Co	2	20
Cromo Hexavalente	mg/litro	< 0,010	0,05
Demanda Química de Oxígeno	mg/litro	29	40
Fluoruros	mg/litro	0,70	1,4
Hidrocarburos Totales de Petróleo	mg/litro	< 0,05	0,5
Hierro	mg/litro	< 0,25	0,3
Mercurio	mg/litro	< 0,0001	0,0002
Nitratos	mg/litro	1,1	13
Nitritos	mg/litro	0,02	0,02
Plomo	mg/litro	< 0,001	0,001
Selenio	mg/litro	< 0,001	0,001
Sulfatos	mg/litro	50,0	50
Turbidez	NTU	0,200	0,2
pH in situ	unid pH	6,8	6,5 - 9

Elaborado por los investigadores basados en [56].

Acorde a lo establecido por la normal la planta Carrizal cumple con todos los parámetros para necesitar solo del proceso de desinfección

Parámetros que infieren en la cloración

1. Concentración y tiempo. Estas dos variables deben verse como interrelacionadas, ya que ambas afectan el tipo y la cantidad de cloro residual, así como la duración del período de reacción disponible para la desinfección. Si se va a confiar en el cloro mixto desinfectante ineficaz, se debe ofrecer una

concentración mayor y un tiempo de acción más prolongado. Por otro lado, la duración de la reacción se puede acortar correspondientemente si se mantiene el cloro residual libre, un desinfectante activo. Un tiempo de reacción de 10 minutos y una concentración de cloro libre residual de 0,05 mg/litro. Con un tiempo de reacción de 60 minutos, matará las bacterias a un pH de 7 y un cloro residual combinado de 0,6 mg/litro. Un residuo de cloro libre disponible de 0,05 desinfectará eficazmente en situaciones en las que el tiempo de reacción sea corto, por ejemplo, 5 minutos [58].

2. Temperatura: La capacidad del cloro residual para desinfectar el agua está muy influenciada por su temperatura. Cuando todas las demás variables se mantienen constantes, la concentración de cloro residual combinada debe ser mayor que el doble de la concentración de cloro residual libre para tener el mismo efecto bactericida. [58].
3. Potencial Hidrogeno. Interfiere con la capacidad del cloro para desinfectar, especialmente el cloro residual mixto. 0,3 mg/litro de cloro residual combinado mata el 100% de los gérmenes cuando el pH es 6,5 y la temperatura es 21°C. El residuo de cloro combinado debe elevarse a 0,6 mg/litro a la misma temperatura y pH 7, e incluso a pH 8,5 debe aumentarse nuevamente, a 1,2 mg/litro, para tener el mismo impacto fatal sobre las bacterias [58].
4. Conductividad eléctrica. Alta conductividad eléctrica significa que el agua contiene una gran cantidad de contaminantes. Por otro lado, el agua potable y el agua ultrapura son prácticamente incapaces de conducir una corriente eléctrica [15].

3.2.3. Arquitectura IoT propuesta para el prototipo

La arquitectura propuesta consta de tres capas: dispositivos, procesamiento de datos (Flow-computing) y aplicación, las mismas que se describen a continuación en base a los elementos que intervienen en cada una.

Las plantas de tratamiento de agua potable requieren constante monitorización y control de los procesos para mejorar la eficiencia del tratamiento del agua, por lo cual la capa de dispositivos cuenta con sensores de las principales variables (temperatura,

humedad, conductividad, pH, caudal), que intervienen en el afluente que alimenta a la planta de tratamiento. La capacidad de integración entre microcontroladores es importante, ya que deben mantener una comunicación constante para el control entre las etapas del proceso de tratamiento de agua; buscando evitar errores humanos al agregar productos químicos, abrir y cerrar válvulas, etc.

Es importante que cada microcontrolador cuente con un medio de conectividad para poderse conectar a la red y enviar la información para ser procesado en la capa de análisis y procesado. Capa que para una mayor eficiencia debe ser almacenada en una plataforma de computación en la nube, en una región cercana a la localidad del desarrollador.

La necesidad de usar un servicio virtual de monitorización y control, para la gestión de los procesos de la planta de agua potable hace que sea necesario el diseño de un aplicativo web, permitiendo acceder desde cualquier dispositivo y lugar que se requiera. En la figura 25 se representa de manera gráfica la arquitectura IoT descrita para este trabajo de investigación.

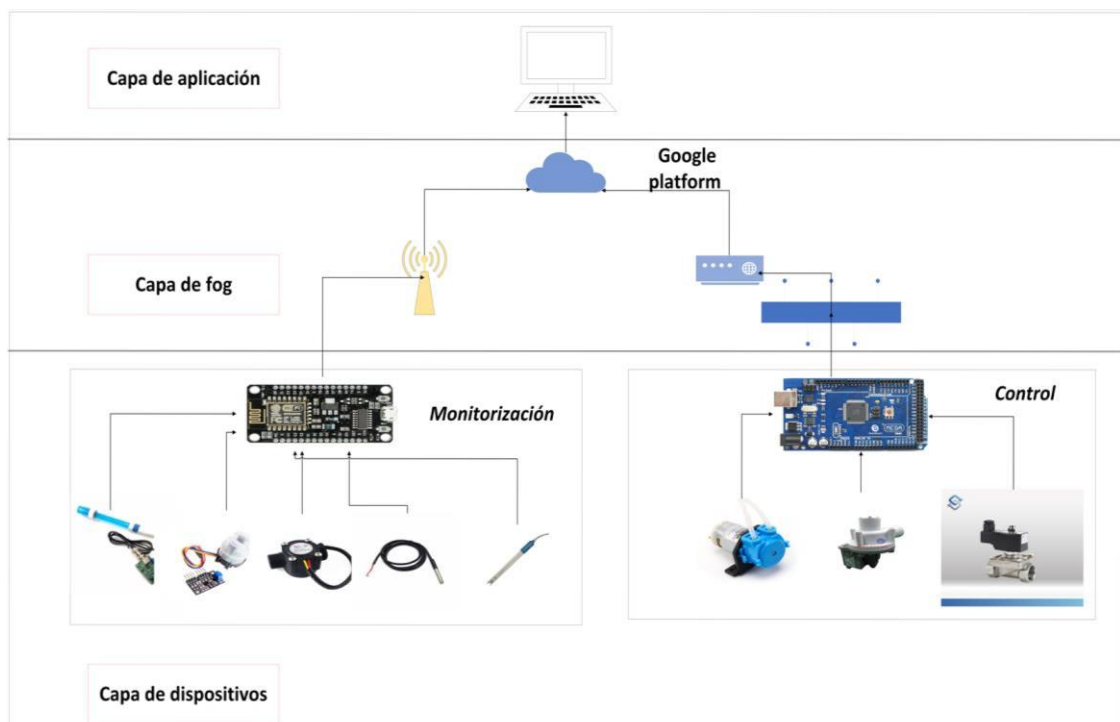


Figura 25 Arquitectura IoT de monitoreo y control para el prototipo.

Elaborado por los investigadores.

3.2.3.1. Capa de dispositivos

En esta capa se considera la adquisición de datos mediante sensorización, para ser enviados hacia un Arduino Mega los que, tras su procesamiento, gobiernen sobre actuadores, permitiendo la visualización de información relevante para la operatividad de la planta de forma resumida en un panel LCD 20x4 posiciones.

Considerando las cinco etapas de potabilización presentes en la planta de tratamiento “El Carrizal” (Bombeo, Pretratamiento, Filtración, Cloración, Reserva), a continuación, se enlista los elementos necesarios para cada etapa.

Bombeo

- Bomba de agua

Pretratamiento

- Sensor de caudal
- Sensor de temperatura
- Sensor de pH
- Sensor de turbidez
- Sensor de nivel
- Sensor ultrasónico
- Sensor de conductividad
- Electroválvula (Sedimentación)
- Electroválvula (Salida Pretratamiento / Entrada Filtración)

Filtración

- Electroválvula (Salida Pretratamiento / Entrada Filtración)
- Sensor de nivel
- Electroválvula (Salida Filtración / Entrada Cloración)

Cloración

Deposito

- Electroválvula (Salida Filtración/ Entrada Cloración)
- Electroválvula (Salida Cloración/ Entrada Reserva)
- Sensor de nivel

- Sensor ultrasónico

Solución Madre

- Bomba peristáltica

Reserva

- Electroválvula (Salida Cloración/ Entrada Reserva)
- Electroválvula (Consumo)
- Electroválvula (Limpieza)
- Sensor de nivel
- Sensor ultrasónico

En plantas de tratamiento de agua potable, se considera imprescindible garantizar el suministro ininterrumpido de agua al sector de abastecimiento, por lo cual es importante que su funcionamiento sea constante. Sin embargo, las plantas de tratamiento tradicionales cuentan con un control manual no garantizándolo.

Las etapas a consideración en el proyecto ilustrados en la figura 26, son una réplica a escala del proceso de potabilización realizado por la planta considerando bombeo, pretratamiento, filtración, cloración y reserva.

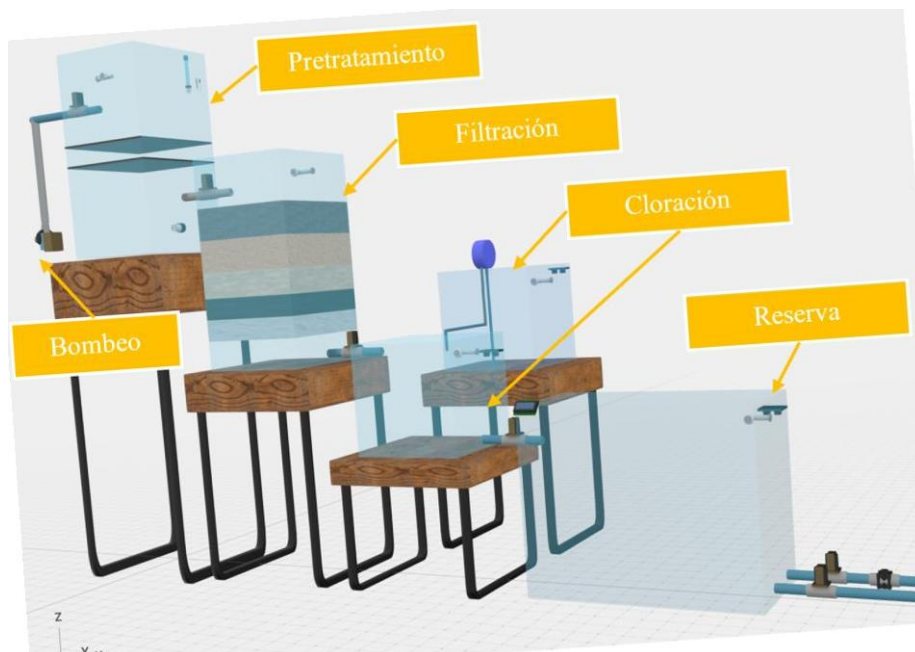


Figura 26 Etapas consideradas para automatización

Elaborado por los investigadores

Bombeo y pretratamiento

Para elevar el agua desde el conducto de agua cruda hacia el tanque de pretratamiento se empleará una bomba de agua que sea capaz de manejar el caudal reducido del original de 61,8 litros/seg a 1 litro/seg; debido a la reducción de la tubería original a una de media pulgada para que pase a un sensor de caudal en el ingreso al tanque de pretratamiento.

En el depósito empleando para simular el proceso de sedimentación además de recoger datos mediante los sensores de pH, temperatura, conductividad, turbidez y caudal, los cuales serán utilizados para el procesado de información necesario para la dosificación del agua. Dicha propuesta en el bombeo y pretratamiento se lo representa mediante la figura 27.

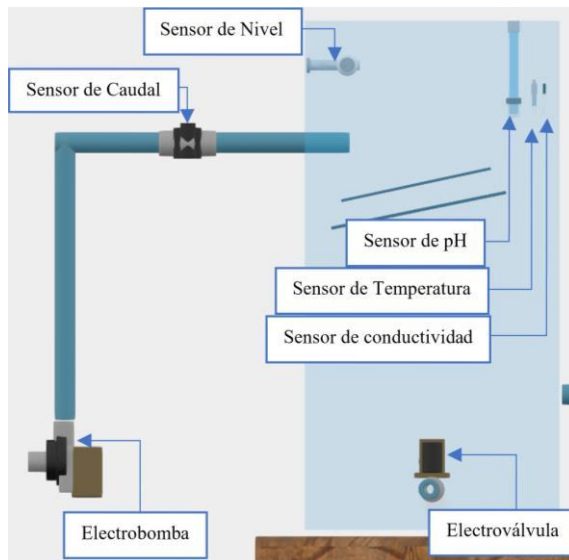


Figura 27 Propuesta Etapa de Bombeo y pretratamiento.

Elaborado por los investigadores

Filtración

Para la etapa de filtración el agua ingresa por medio de apertura de una electroválvula contando con un sensor de nivel para determinar el llenado del depósito, para que este pase por un filtro de varias capas simulando el proceso de filtrado con piroclásticos finos y aireación usada en la planta anteriormente. La propuesta en la etapa de filtración se representa en la figura 28.



Figura 28 Propuesta Etapa de Filtración.

Elaborado por los investigadores

Cloración

Para el proceso de cloración se emplea dos depósitos, en el primero de menor tamaño en el cual se tiene la solución madre de hipoclorito de calcio; donde se controla el nivel de líquido mediante un sensor ultrasónico y de nivel, para el proceso de dosificación se usará una bomba peristáltica controlada con un módulo PWM, mediante el cual el caudal sea controlado en base a un algoritmo de las variables medidas en el tanque de pretratamiento, pasando al segundo tanque donde se controla el nivel además de la entrada de agua cruda desde el tanque de filtración y la salida hacia el reservorio. En la figura 29 se muestra la propuesta de la etapa de cloración.

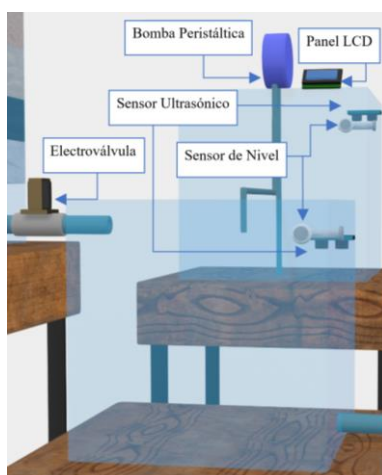


Figura 29 Propuesta Etapa de Cloración.

Elaborado por los investigadores.

Reserva

En la etapa de reserva se controla el nivel de agua del tanque que ingresa desde el proceso de cloración para mediante una válvula pasar a la distribución y una segunda válvula para el desecho del agua, como se muestra en la figura 30.

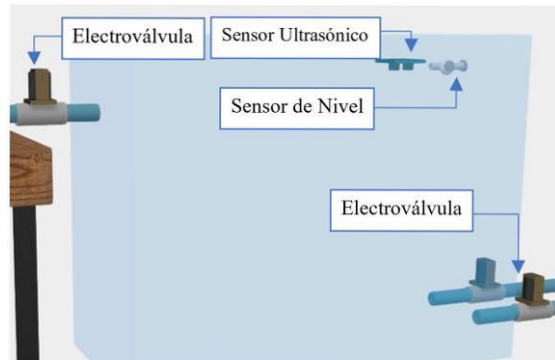


Figura 30 Propuesta Etapa de reserva.

Elaborado por los investigadores.

3.2.3.1.1. Selección de sensores

Sensores de nivel

Un sensor de nivel es una herramienta que se utiliza para realizar un seguimiento, medir y controlar los niveles de líquidos. El sensor convierte los datos observados en una señal eléctrica después de detectar el nivel de líquido [59].

Los sensores de nivel se pueden dividir en dos categorías: sensores de nivel de punto y sensores de nivel continuo.

Sensor de nivel de punto

Para mostrar si un líquido ha entrado en un punto determinado de un recipiente, se utilizan sensores de nivel de punto [60].

Los interruptores de flotador funcionan utilizando un flotador, un dispositivo que sube o baja cuando se aplica o retira una sustancia, y que abre o cierra un circuito a medida que cambia el nivel. Los interruptores de flotador no pueden medir un nivel fluctuante; solo pueden indicar un nivel alto o bajo [60].

Los modelos ofrecidos en el mercado manejan las mismas características discrepando en su precio y voltaje de operación razón por la cual se escoge el modelo ZP5210, al contar con un voltaje de ruptura elevado y un costo medio, cuyas especificaciones están disponibles en anexo 11. En la tabla 11 se describe la comparación entre tres sensores de nivel.

Tabla 11 Comparación sensor de nivel.

Aspecto	Sensor	LS-P52	ZP5210	DP3500
Máximo nominal de los contactos		10 W	10 W	10 W
Voltaje máximo de ruptura		100 V DC	220 V DC	220 V DC
Corriente máxima de conmutación		0,5 A	0,5 A	1 A
Max resistencia de contacto		100 mΩ	100 mΩ	328.1 mΩ
Costo		4,99 USD	3,57 USD	2 USD

Elaborado por los investigadores basado en [61] [62] [69].

Sensor de nivel continuo

Los sensores de nivel continuo proporcionan mediciones precisas del nivel de líquido siendo de dos tipos: ultrasónico y radar [60].

Las ondas ultrasónicas son transmitidas y recibidas por sensores de nivel ultrasónicos para operar. La distancia está determinada por la cantidad de tiempo que tardan las ondas en reflejarse [60].

La parte superior del tanque, lejos del asfalto caliente, albergaría el sensor ultrasónico, que se usaría para medir el nivel y enviar una solicitud para llenar el tanque.

En base a la comparativa realizada en la tabla 12, se escoge el sensor HC-SR04, al manejar una maqueta cuyas dimensiones en profundidad de los depósitos no superan los 50 cm, ya que solo se busca detectar el nivel de agua del tanque siendo un indicativo de cantidad exacta funcionando a la par del sensor de nivel flotador. La totalidad de sus especificaciones están disponibles en anexo 12.

Tabla 12 Comparación sensor ultrasónico.

Sensor	HC-SR04	JSN-SR04T-V1.0	JSN-SR04T-V3.0
Aspecto			
Voltaje de trabajo	5V DC	5V DC	3.0 ~ 5V DC
Distancia de detección	2 ~ 497 cm	25 ~ 400 cm	21 ~ 600 cm
Angulo de detección	<15 °	70 °	167 °
Costo	2,50 USD	16,99 USD	16,99 USD

Elaborado por los investigadores basado en [63] [64] [65].

Sensor de pH

El sensor de pH es un sensor que mide la cantidad de iones de hidrógeno presentes en una solución y transforma esa información en una señal de salida útil. Por lo general, consta de un componente de transmisión de señal y un componente químico. El rango de medición se representa digitalmente como 0–14. El número 7 denota imparcialidad. La alcalinidad es más fuerte cuando el valor es más alto; la acidez es más fuerte cuando el valor es más bajo [66].

Considerando características técnicas de los dos modelos reflejados en la comparativa de la tabla 13, concluyendo que solo se diferencian en el tiempo de vida útil y en impermeabilidad, además de ser el más económico se considera el sensor Sen-0161, cuyas especificaciones están especificadas en el anexo 13.

Tabla 13 Comparación sensor de pH.

Sensor	Sen-0161	Sen-0169
Aspecto		
Voltaje de calentamiento	5 ± 0.2V (AC DC)	5 ± 0.2V (AC DC)
Corriente de trabajo	5-10mA	5-10mA
Rango de concentración de detección	0-14	0-14
Consumo	0.5W	0,5 W.
Tiempo de respuesta	5S	5S
Tiempo de fijación	60S	60S
Temperatura de trabajo	-10 ~ 50 °C	-10 ~ 50 °C

Humedad	95% HR (humedad nominal 65% HR)	95% RH (humedad nominal 65% RH)
Conector	BNC	BNC
Vida Útil	6 meses	2 años
Sumergible	Solo parte frontal	Por completo
Costo	45,99 USD	52,60 USD

Elaborado por los investigadores basado en [67].

Sensor de caudal

Un sensor de flujo es un dispositivo eléctrico que mide o controla el caudal de líquidos y gases dentro de tuberías y tubos (más conocido como "medidor de flujo"). Los sensores de flujo pueden detectar fugas, obstrucciones, roturas de tuberías y cambios en la concentración del líquido provocados por la contaminación o la polución [68].

Basándose en la tabla 14, donde se compara parámetros técnicos distintivos entre cada modelo y al emplear contenedores de pequeño tamaño se maneja como máximo 12 litros de agua en el contenedor de mayor tamaño, además de usar tubería de media pulgada se limita el caudal empleado, al no manejar una elevada presión de agua y al permitir un flujo de 30 litros/ minuto se escoge el modelo YF-201C, cuyas especificaciones están especificadas en el anexo 14.

Tabla 14 Comparación sensor de caudal.

Sensor	YF-S201C	YF-S302	YF-S402C
Aspecto			
Voltaje de operación	5 – 18V	5 - 15 V	3,5 - 12 V
Consumo máximo de corriente	15mA	15mA	15mA
Rango de Flujo	1-30 L/min	0,3 – 6 L/min	0,3 – 12 L/min
Temperatura del líquido máxima	≤ 80 °C	≤ 60 °C	≤ 120 °C
Presión de trabajo máx.	2 MPa	1,75 MPa.	<0,35 MPa
Diámetro de rosca externa	1/2	1/4	3/8
Costo	9,99 USD	9,99 USD	9,99 USD

Elaborado por los investigadores basado en [69], [70], [71].

Sensor de Turbidez

El sensor de turbidez por gravedad mide la opacidad del agua para determinar su calidad. La cantidad de sólidos suspendidos totales (TSS) en el agua afecta la transmisión de la luz y la tasa de dispersión, que se pueden usar para identificar partículas suspendidas en el agua. El nivel de turbidez del líquido aumenta a medida que aumenta el TTS [72].

En base a la comparativa desarrollada en la tabla 15, debido al rango de temperatura de funcionamiento y disponibilidad en el mercado se elige el modelo SEN-0189, cuyas especificaciones se detallan en el anexo 15.

Tabla 15 Comparación sensor de turbidez.

Aspecto	Sensor	KS0414	SEN-0189
Voltaje de funcionamiento		3.3V/5V DC	5V DC
Corriente de funcionamiento		11 mA	40 mA
Rango de detección		0-4550 NTU	0-4550 NTU
Temperatura de funcionamiento		-30°C ~ 80°C	-5 °C ~ 90°C
Costo		45,99 USD	37,99 USD

Elaborado por los investigadores basado en [73], [74].

Sensor de temperatura

Para registrar, controlar o comunicar los cambios de temperatura, un sensor de temperatura es un dispositivo electrónico que controla la temperatura de su entorno y convierte los datos de entrada en datos electrónicos. El funcionamiento de un medidor de temperatura está controlado por el voltaje aplicado a través del diodo. La resistencia del diodo determina cuánto cambia la temperatura [75].

La tabla 16 muestra la comparativa con los tres principales sensores de temperatura, pero al tener como preferencia del ser sumergible, el único sensor que cumple dicho requerimiento es el DS18B20 que además de contar la mayor precisión de medición posee una temperatura de medición acorde a la presentada por la ubicación de la planta de tratamiento, la totalidad de las especificaciones del sensor DS18B20 constan en el anexo 16.

Tabla 16 Comparación sensor de temperatura.

Sensor	DHT22	DS18B20	DHT11
Aspecto			
Sumergible	NO	SI	NO
Voltaje de trabajo	3 V - 5.5 V	3,0 V a 5,5 V	3,0 V a 5,5 V
Rango de temperatura	- 40°C a 80°C	-10 °C a 85 °C	0 °C a 50 °C
Precisión de medición	2%	1%	2%
Costo	3,66 USD	3,99 USD	1,77 USD

Elaborado por los investigadores basado en [76], [77], [78].

Sensor de conductividad

La capacidad de una solución para conducir una corriente eléctrica se mide con un sensor de conductividad [79].

La capacidad de una muestra de agua para conducir una corriente eléctrica se mide mediante sensores de conductividad. Dado que las sales disueltas y las sustancias inorgánicas como los álcalis, los cloruros, los sulfuros y los compuestos de carbonato aumentan la conductividad de una muestra [80].

En base a la tabla 17, considerando la señal de salida y disponibilidad en el mercado del sensor se elige el sensor SEN0101, especificando todas sus características en el anexo 17.

Tabla 17 Comparación sensor de conductividad.

Sensor	SEN0101	STM32
Aspecto		
Voltaje de entrada	3,3 ~ 5,5 V	3 ~ 5 V.
Señal de salida	0 ~ 2,3 V	0 ~ 3,4 V
Corriente de trabajo	3 ~ 6mA	3 ~ 6mA
Rango de medición	0 ~ 1000ppm	0 ~ 1000ppm
Precisión de medición	±10% F.S.	±10% F.S.
Costo	24,99 USD	17,19 USD

Elaborado por los investigadores basado en [81], [82].

Cámara IP

Una cámara IP es un dispositivo de seguridad digital que utiliza una red IP para transmitir y recibir datos de video. Estas cámaras pueden grabar videos de alta definición de hasta 16 megapíxeles, y algunos modelos tienen un chip de procesamiento que reduce el tamaño del video durante la grabación [83].

En la tabla 18, se compara tres modelos de cámaras IP; considerando el ángulo de visión al tener que cubrir una gran extensión y el audio bidireccional para comunicarse con operarios se escoge el modelo C3W Pro, cuyas prestaciones se detallan en el anexo 20.

Tabla 18 Comparación de cámaras Ip.

Modelo	IP5M-B1186EW	C3W Pro	RLC-811A
Aspecto			
Fabricante	Amcrest	Ezviz	Reolink
Resolución	2592x1944 (5,0 Mp)	1920 × 1080(4 Mp)	3840x2160 (8,0 Mp)
Angulo de visión	Horizontal: 103° Vertical: 50°	Horizontal: 104° Vertical: 87°	Horizontales: 101° Vertical: 55°
Impermeable	IP67	IP67	IP66
Detección inteligente	✘	✓	✓
Visión Nocturna	30 metros	30 metros	30 metros
Formato de video	H.265/H.264	H.265 / H.264	H.265
Audio Bidireccional	✘	✓	✓
Temperatura de funcionamiento	-57°C - 60 °C	-30°C a 60°C	-10 °C - +55 °C
Red Cableada	✘	RJ45	RJ45
Admite almacenamiento	Hasta 256 Gb	Hasta 256 Gb	Hasta 256 Gb
Costo	49,99 USD	89,99 USD	126,99 USD

Elaborado por los investigadores basado en [84], [85] [86].

3.2.3.1.2. Selección de actuadores

Electroválvula

Una válvula solenoide es un dispositivo electromecánico que controla el flujo de fluido a través de un conducto [87].

Al tener una tubería de media pulgada, se limitan las posibilidades, ya que se utiliza la gravedad como fuente de presión, lo que implica que esta sea baja. En base a la comparativa de la tabla 19, no necesitando de una válvula de gran capacidad y se opta por una de menor precio que cumpla con los mismos parámetros de funcionamiento, siendo el modelo AQT15S, cuyas especificaciones constan en el anexo 18.

Tabla 19 Comparación de electroválvulas.

Elemento Aspecto	AQT15S	AQT10S
Temperatura de operación	0~ 40°C	0~60/100°C
Voltaje de operación	12 V, 24 VDC	12 V, 24 VDC
Presión de trabajo	0.02 a 0.8 Mpa	0,02 ~ 0,8 MPa
Vida Útil	200,000	200,000
Costo	10,99 USD	12,99 USD

Elaborado por los investigadores basado en [88].

Bomba Peristáltica

El término "peristáltico" describe como líquido se mueve a través de un tubo giratorio contiene ruedas que son giradas por un motor que pellizca el tubo mientras hace esto, creando un espacio por el que se puede aspirar líquido, expulsándolo a medida que gira el motor. Por lo tanto, la bomba es perfecta para transportar líquidos o productos químicos sin riesgo de contaminación cruzada [89].

En la tabla 20, se presenta una comparativa entre algunos modelos de interés, después de analizarlos y al manejar los mismos parámetros, se determinó en base al flujo siendo el factor determinante para elegir la bomba adecuada; debido a que el tamaño del

contenedor de la solución madre solo emplea 3785 ml, se requiere de bajas prestaciones razón por la cual se elige el modelo KPHM100.

Tabla 20 Comparación Bomba peristáltica.

Modelo	KPHM100	KPHM400	KHPP260
Aspecto			
Voltaje	12 V DC	12 - 24 V DC	12 V DC
Corriente	0,5 A	0,5 A	0,5 A
Tasa de flujo	102 ml/min	400ml/min	264 ml/min
Temperatura de funcionamiento	0 - 40 °C	0 - 40 °C	0 - 40 °C
Costo	15,35 USD	32,55 USD	17,85 USD

Elaborado por los investigadores basado en [90], [91], [92].

3.2.3.1.3. Selección del controlador

Hay algunos factores importantes a considerar al elegir un microcontrolador, como la disponibilidad en el mercado, el voltaje de operación y la cantidad de pines analógicos y digitales. En la tabla 21, se detalla los parámetros más importantes de las tarjetas de desarrollo electrónico más utilizadas a nivel mundial.

Tabla 21 Tabla comparativa de microcontroladores.

Modelo	Raspberry Pi 3 B	Arduino Mega 2560	NodeMCU ESP8266 V3
Aspecto			
Alimentación	5V	5 – 12 V	5 – 10 V
Conexión inalámbrica	SI	DISPONIBLE MÓDULO	SI
Pines digitales	25 pines	54 pines	11 pines
Pines analógicos	-	16 pin	1 pin
Corriente/pin	50 mA/pin	40 mA/pin	12 mA/pin
Velocidad de reloj	1,2 GHz	16 MHz	80 o160 MHz
I2C	2	1	1
Precio	100 USD	22 USD	10 USD

Elaborado por los investigadores basados en [93] , [94] y [95].

Posterior a la comparación de los microcontroladores y debido a la necesidad de contar con entradas analógicas, se descarta la placa de desarrollo Raspberry Pi. En base a la necesidad de corriente que entrega cada placa, la cantidad de sensores y actuadores, se seleccionan dos placas: Arduino Mega especificada en el anexo 21 y NodeMcu ESP8266 detallada en el anexo 22, para su uso. Se considera la adaptación de un módulo extra al Arduino Mega para poder obtener conectividad a Internet y, posteriormente, transmitir los datos al servidor en la nube [93].

3.2.3.1.4. Sistema de abastecimiento de energía

El sistema de abastecimiento de energía se selecciona en base a los siguientes criterios:

- Consumo total de energía de los módulos y microcontroladores.
- Horas de funcionamiento activo.

En la tabla 22 se observa el consumo total de todo el sistema, considerando la potencia máxima de cada dispositivo según especificaciones del fabricante.

Tabla 22 Tabla consumo de elementos del sistema.

Dispositivo	Voltaje (V)	Potencia Máxima (W)	Tiempo de uso(H)	Cantidad	Energía Total (Wh)	Potencia Máxima Total(W)
Bomba peristáltica	12	12	24	1	288	12
Sensor de caudal	5	0,28	24	1	6,72	0,28
Sensor de pH	5	0,5	24	1	12	0,5
Sensor de conductancia	5,5	0,55	24	1	13,2	0,55
Sensor de turbidez	5	0,4	24	1	9,6	0,4
Sensor de temperatura	5,5	0,0075	24	1	0,18	0,0075
Sensor de nivel	5	0,5	24	4	12	2
Sensor ultrasónico	5	0,5	24	2	12	1
Electroválvula	12	12	24	6	288	72
Modulo Arduino mega	12	12	24	1	288	12
Modulo esp8266	5	0,5	24	2	12	1
Módulo LCD 24*4	5	0,5	24	1	12	0,5
Total					1011,3	104,6375

Elaborado por los investigadores basados en [93].

Como se pudo visualizar en la tabla 22 el consumo es de 104.63 W/h por lo cual se seleccionó la fuente más básica de 500 W la cual consta de varias salidas que se pueden observar en la figura 31, con diferentes voltajes capaces de alimentar a todos los componentes necesarios para el perfecto funcionamiento del sistema.

Color	Purpose	Notes
Black	0 V (Ground)	Often notated as "COM" for "common"
Orange	+3.3V	Provides the stated voltage
Red	+5 V	Provides the stated voltage
Yellow	+12V	Provides the stated voltage
Yellow with a black stripe	+12V (2nd rail)	Present on newer PSUs; running to a separate 4-pin connector for the processor.
White	-5 V	Not present in newer PSUs. Provides the stated voltage, usually at very low maximum amperage.
Blue	-12 V	Provides the stated voltage, usually at very low maximum amperage.
Brown (or smaller-gauge orange)	+3.3V sense	Often present. Must be connected to the orange (+3.3V) wires to allow the PSU to detect and regulate output.*
Pink (or smaller-gauge red)	+5V sense	Sometimes present. Must be connected to the red (+5V) wires to allow the PSU to detect and regulate output.*
Yellow (small gauge)	+12V sense	Rarely present. Must be connected to the yellow (+12V) wires to allow the PSU to detect and regulate output.*
Green	PSU on	Connecting this wire to the black (ground) wire will pull the green wire's +5V signal low, signaling the PSU to turn on. If you want an on/off switch, it should be on this connection.
Grey	Power Good (self-test OK)	This wire sends a +5V signal as long as the PSU is providing power within normal parameters. Can be used to power an LED indicator to show that the unit is functioning properly.
Purple	+5V standby	Provides +5V whenever the PSU is powered (even when the green "PSU on" wire is not connected to ground). Can be used to power an indicator LED to show that the unit has power.

* Some PSUs will still function with the sense wires disconnected, however voltage regulation at higher amperages is likely to be negatively effected.

Figura 31 Datasheet voltajes de salida.

Elaborado por los investigadores basado en [96].

Viabilidad tecnológica

Los requisitos necesarios de los dispositivos electrónicos pueden considerarse esenciales, todos los dispositivos tienen sus propios estándares de protección y seguridad, es necesario que sean sumergibles y aptos para uso en exteriores según sea necesario porque son los encargados de recopilar datos de cada variable del proceso de manera ininterrumpida.

Los parámetros que intervienen, especificaciones de control y tecnología a usar en cada fase, se especifica a continuación.

Pretratamiento

Es imprescindible monitorear las variables de caudal, pH, turbiedad, temperatura y conductancia para garantizar una dosificación adecuada. La información se extrae en tiempo real mediante diferentes módulos y se procesa con un microcontrolador Arduino basado en arquitectura IoT antes de enviarla a un servidor mediante la

tecnología inalámbrica 802.11. En esta etapa, las medidas de control se centran en el pH y la temperatura, ya que estos parámetros son cruciales para la dosificación del agente desinfectante. El proceso se ilustra en la figura 32.

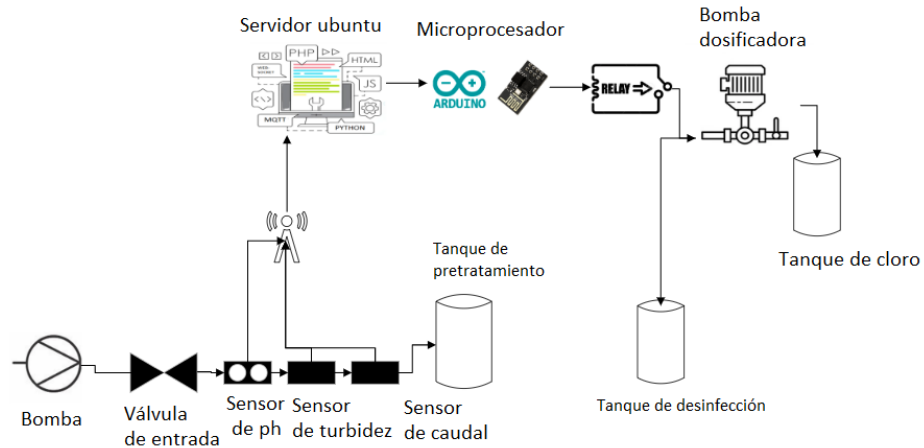


Figura 32 Diagrama funcional del proceso de dosificación

Elaborado por los investigadores.

Para los tanques de pretratamiento, filtración y reserva es trascendental que se controle el ingreso del agua mediante la apertura y cierre de electroválvulas, así como extraer información si se ha pasado el límite de impurezas mediante sensores de nivel, en el tanque de desinfección de agua es necesario controlar el tiempo de inactivación y nivel para la cloración correcta del agua, por lo que es necesario contar con un sensor de nivel ultrasónico que envíe la cantidad exacta de líquido para parte del proceso de dosificación, dicha arquitectura se muestra en la figura 33.

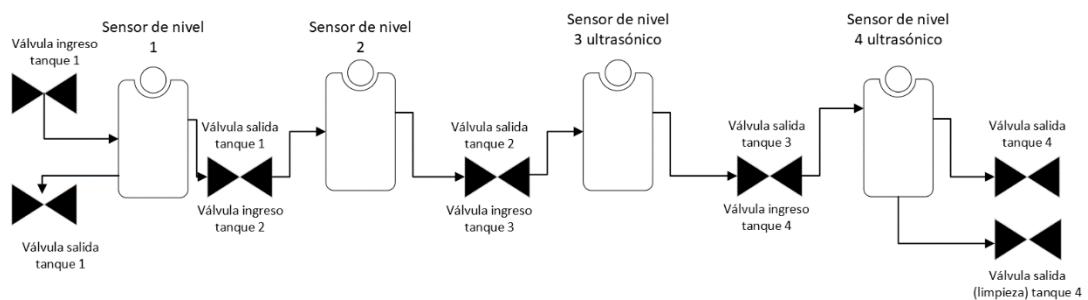


Figura 33 Diagrama funcional de cierre y apertura de válvulas de tanques.

Elaborado por los investigadores.

Todos los procesos anteriores y sus variables deben ser monitoreados y controlados a través de una interfaz web basada en un servidor Ubuntu en la nube que le permite al operador supervisar y controlar el sistema de forma manual, automática y supervisada (Mediante inteligencia artificial), ayudando así a corregir errores que ocurren en plantas de tratamiento de agua potable tradicionales.

Para el proceso de bombeo se toma una lógica de secuencia en relación con todos los tanques, tomando en consideración la lectura de los sensores de nivel quienes definen el estado del tanque ya sea lleno o vacío, para proceder a la activación del bombeo para alimentar el sistema de agua cruda y que pueda ser procesada hasta la obtención de agua limpia. Dicha lógica se muestra en la figura 34.

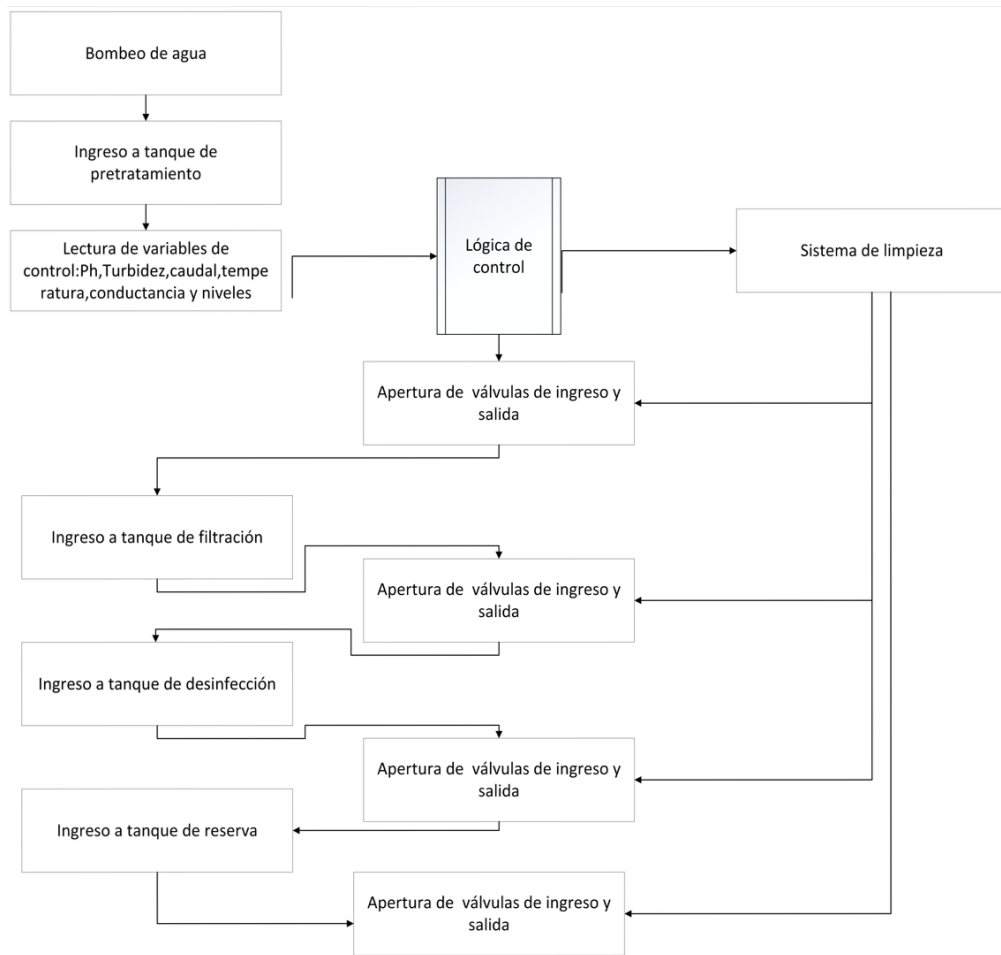


Figura 34 Diagrama funcional del proceso de bombeo.

Elaborado por los investigadores.

Filosofía de Control del Sistema de Automatización

Para iniciar la lógica de control del sistema que controla el proceso de tratamiento del agua, se considera la división del sistema en cinco subprocesos, lo que permite un análisis más detallado de cada parte. Siendo los siguientes:

- i. Proceso de pretratamiento
- ii. Proceso de filtrado.
- iii. Proceso de dosificación.
- iv. Proceso de reserva y distribución
- v. Proceso de limpieza.

A continuación, se describe la lógica de control que el sistema a desarrollar debe controlar en los diferentes procesos de investigación:

1. Proceso de pretratamiento

El pretratamiento es el primer proceso en el cual el agua es sedimentada únicamente para reducir la turbidez del agua, por lo cual en este tratamiento se puede tener dos modos de operación.

- i. Modo Manual:** Este modo únicamente solventa la apertura y cierre de válvulas para una limpieza preventiva del tanque en caso de que el operador requiera hacerlo.
- ii. Modo Automático:** Entrará en funcionamiento acorde a los requerimientos de paso de agua necesaria a las siguientes etapas tomando en consideración el tiempo de inactivación necesario para la desinfección del agua, también se considera las impurezas que se lleguen acumular dentro del mismo para automáticamente realizar un proceso independiente de limpieza del tanque.

2. Proceso de filtración.

El propósito del proceso de filtración es eliminar partículas sólidas muy pequeñas que no se eliminaron en el paso anterior. A partir de este proceso, el agua mantiene la calidad requerida y solo se necesita un paso de desinfección microbiana para su distribución.

Esta etapa de tratamiento de igual manera cuenta con dos modos, las cuales son

- i. **Modo Manual:** Entrará en funcionamiento cuando uno de los filtros falle y requiera atención del operador. El operador debe operar manualmente las válvulas de entrada y salida del tanque de filtración.
- ii. **Modo Automático:** Este modo podrá verificar el nivel de agua en el filtro para que así el sistema abra las electroválvulas tanto de entrada como de salida, permitiendo que el agua purificada fluya directamente al tanque principal en la siguiente etapa. La lógica del proceso de filtración se lo representa en la figura 35.

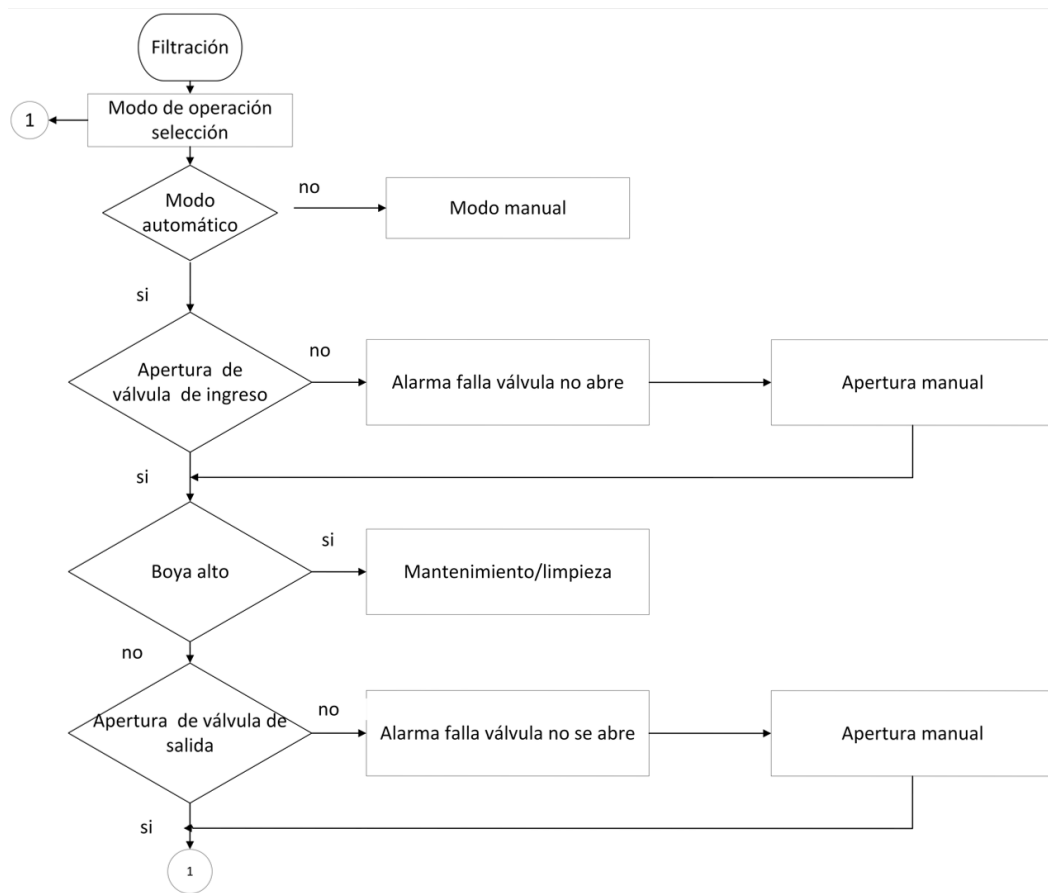


Figura 35 Lógica de control filtración.

Elaborado por los investigadores.

3. Proceso de Dosificación

El proceso de dosificación resuelve la tarea de estabilizar la concentración de pH y remover las sustancias coloidales en el agua, para lo cual se analizan dos modos de operación, basado en un algoritmo de inteligencia artificial.

El modo automático involucra la variable de la temperatura que es un factor imprescindible para la capacidad de desinfección con el uso hipoclorito de calcio.

En la sección 3.2.5, se detallan los principios de control basados en inteligencia artificial que deben seguir ambos modos de funcionamiento durante la fase de dosificación supervisada.

- i. **Modo Automático:** Para el modo automático basado en la lectura y procesado de datos de pH y temperatura, el controlador debe recibir el tiempo de inactivación requerida y apertura adecuada de hipoclorito de calcio suministrado mediante la bomba dosificadora y regulada por un módulo de PWM, en base a las decisiones tomadas por el algoritmo de inteligencia artificial. El proceso lógico del control automático basado en IA se muestra en la figura 36.

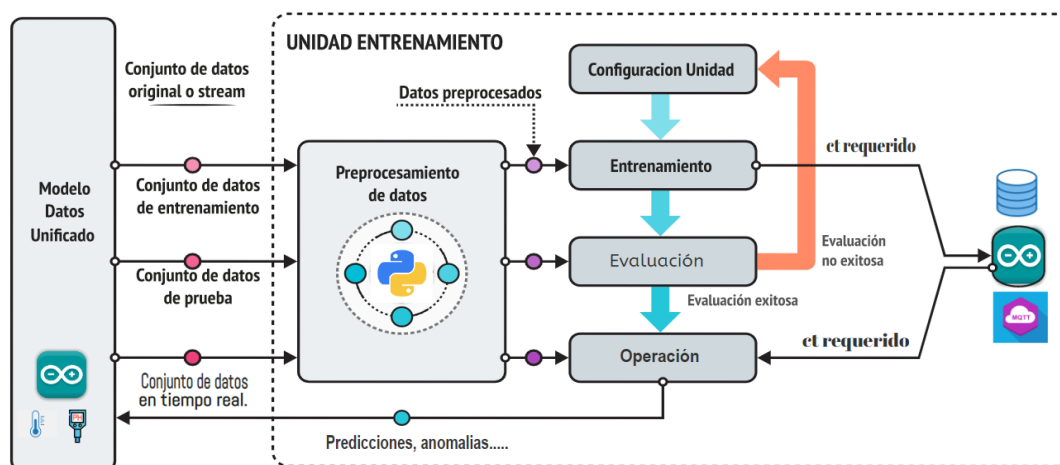


Figura 36 Lógica de control machine learning

Elaborado por los investigadores.

- ii. **Modo manual:** Operará cuando los sensores ubicados en el tanque de pretratamiento involucrados en la fase de dosificación requieran mantenimiento o en caso de falla del equipo de control basado en IA. En este modo, el operador controlará manualmente la cantidad de solución de cloro en la etapa de dosificación.

Proceso de reserva y distribución

En esta etapa final de tratamiento del igual al igual que los anteriores subprocesos constará de dos modos para una mayor seguridad antes posibles errores de funcionamiento del sistema, las cuales son.

- i. **Modo Manual:** Entrará en funcionamiento cuando exista errores donde las aperturas de válvulas controladas por el sistema fallen o cuando exista algún tipo de alerta de nivel del tanque y el sistema no actúe ante dicha alarma, el operario podrá abrir o cerrar las válvulas de ingreso y de salida.
- ii. **Modo Automático:** Este modo estará en constante funcionamiento procesando información a partir de los sensores de niveles y suministro del agua procesada por parte del tanque de dosificación, los mismos que serán los que asignen el comportamiento de las aperturas cierres de las válvulas para su reserva y distribución a la red principal de agua potable. La lógica del proceso de reversa y distribución se representa en la figura 37.

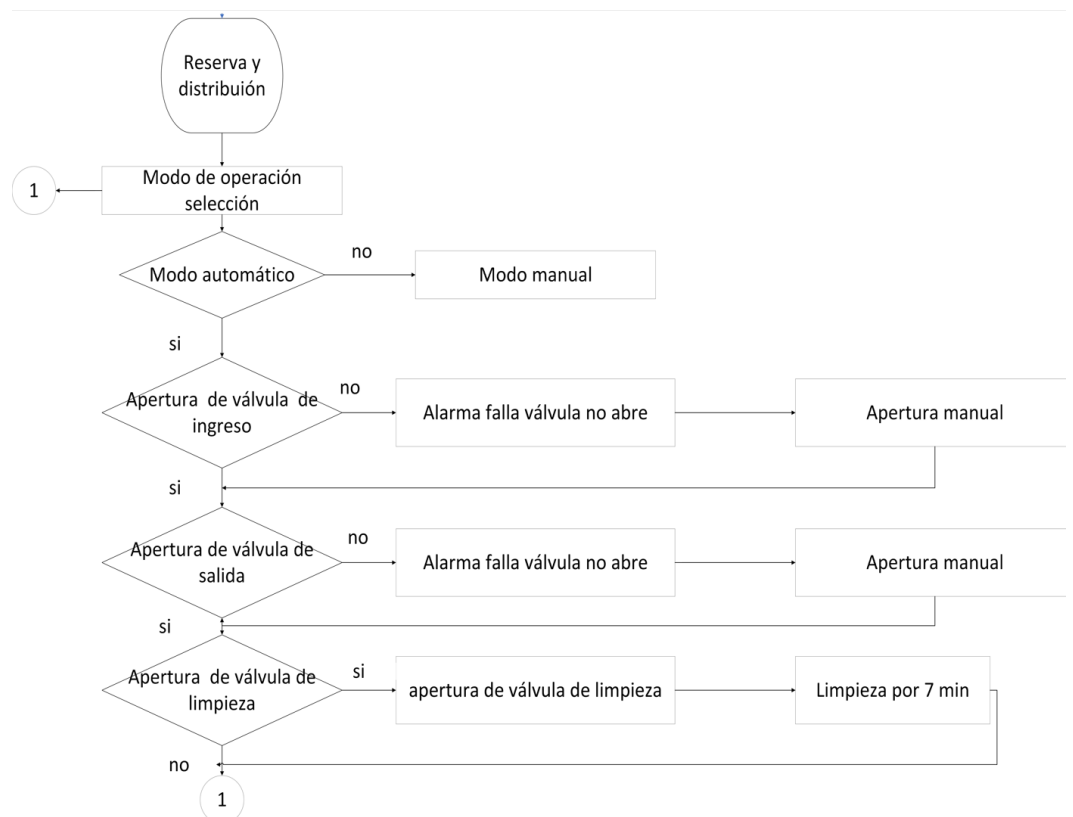


Figura 37 Lógica proceso de reserva y distribución.

Elaborado por los investigadores.

Proceso de limpieza

Para el proceso de limpieza se contempla los siguientes modos de operación:

- i. **Modo Manual:** Cuando uno de los filtros está siendo reparado y el operador abre o cierra manualmente la válvula.
- ii. **Modo Automático:** La válvula de salida a la red principal del tanque de reserva se cerrará, mientras que la válvula del tanque de pretratamiento permitirá el flujo de agua hacia todos los tanques que conforman la planta. La inyección de agua debe continuar durante al menos 5 minutos. Luego, se cierran las válvulas, lo que indica que el proceso de limpieza del filtro está completo. En este punto, el sistema debe abrir nuevamente las válvulas de entrada y salida, de acuerdo con cada proceso de tratamiento de agua. [27].

En la figura 38 se representa la lógica par a el proceso de limpieza de los tanques.

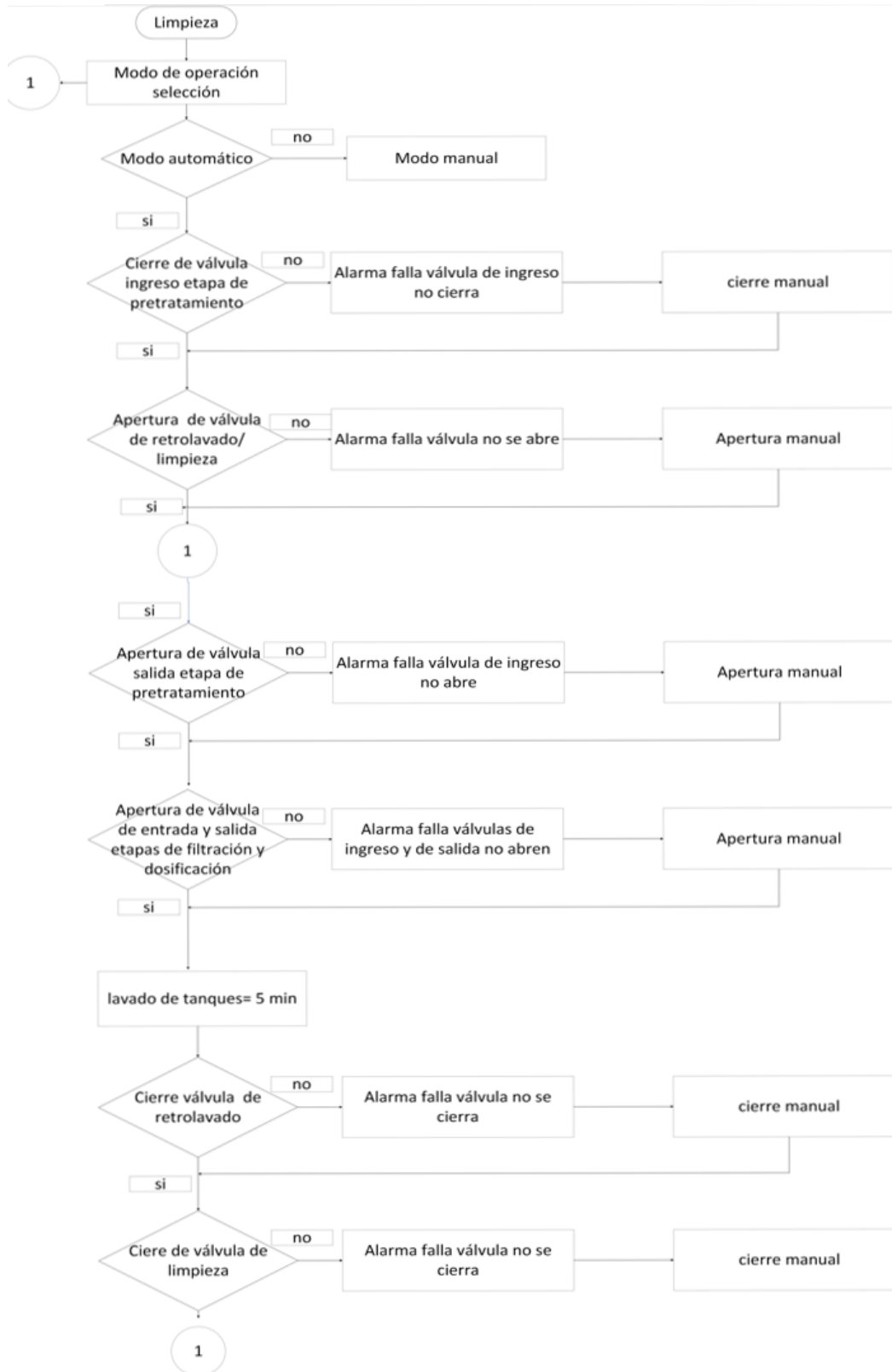


Figura 38 Lógica proceso de limpieza

Elaborado por los investigadores.

Habiendo escogido todos los elementos necesarios para el desarrollo del prototipo queda conectarlos y calibrarlos en base a las necesidades por ello, en la figura 39, se presenta el esquema de conexión usado.

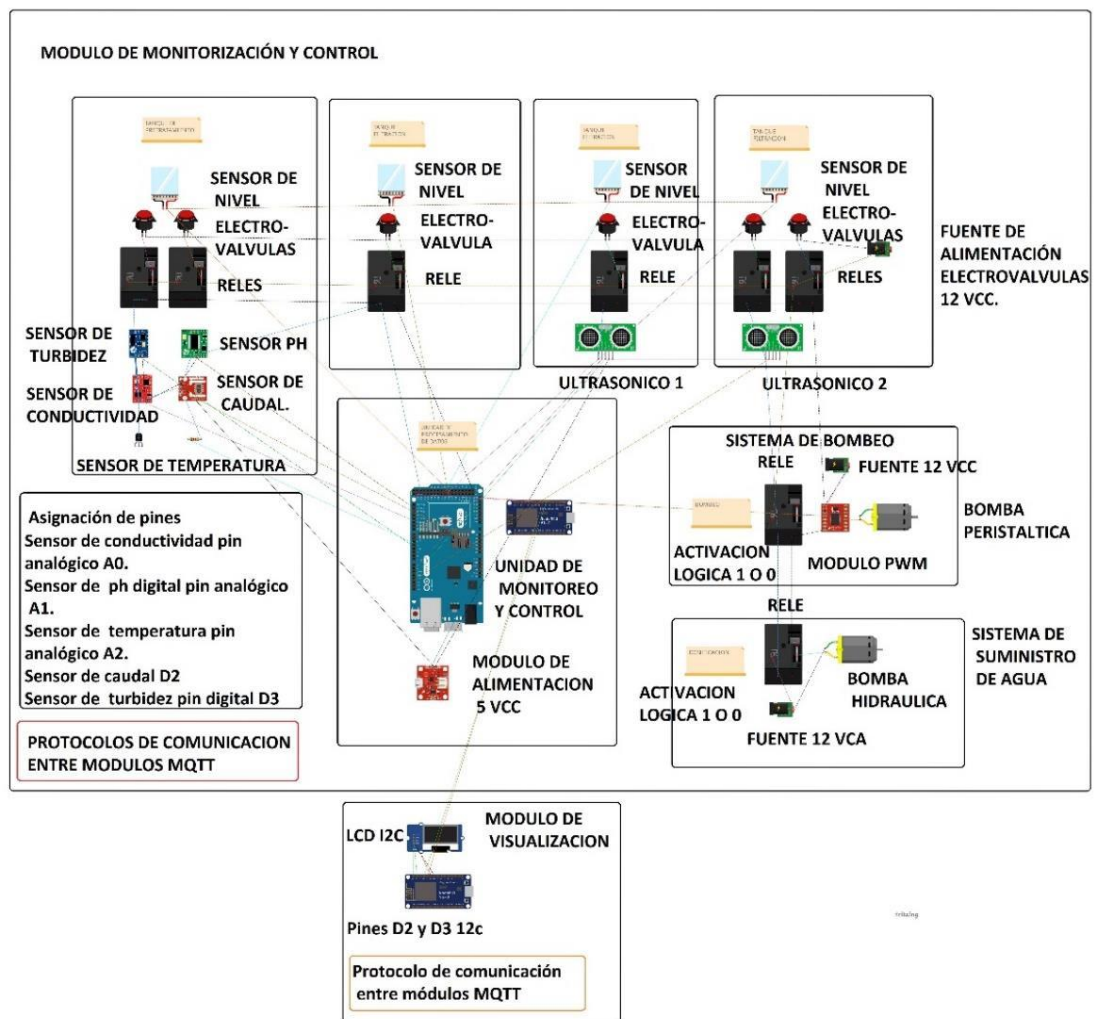


Figura 39 Esquema de conexión electrónico.

Elaborado por los investigadores.

En el microcontrolador Arduino se realiza la sensorización y comunicación mediante MQTT además del envío de datos hacia el servidor para que mediante un algoritmo de inteligencia artificial se remita una salida referente al valor de CT empleada en la etapa de cloración.

El microcontrolador ESP8266 se emplea para la recepción del dato procedente del servidor mediante el cual se controla la dosificación, y el segundo microcontrolador ESP8266 se usa para envío de datos y visualización de estos en el panel LCD. En la figura 40 se puede observar el esquemático electrónico de todos los elementos que intervienen en el prototipo.

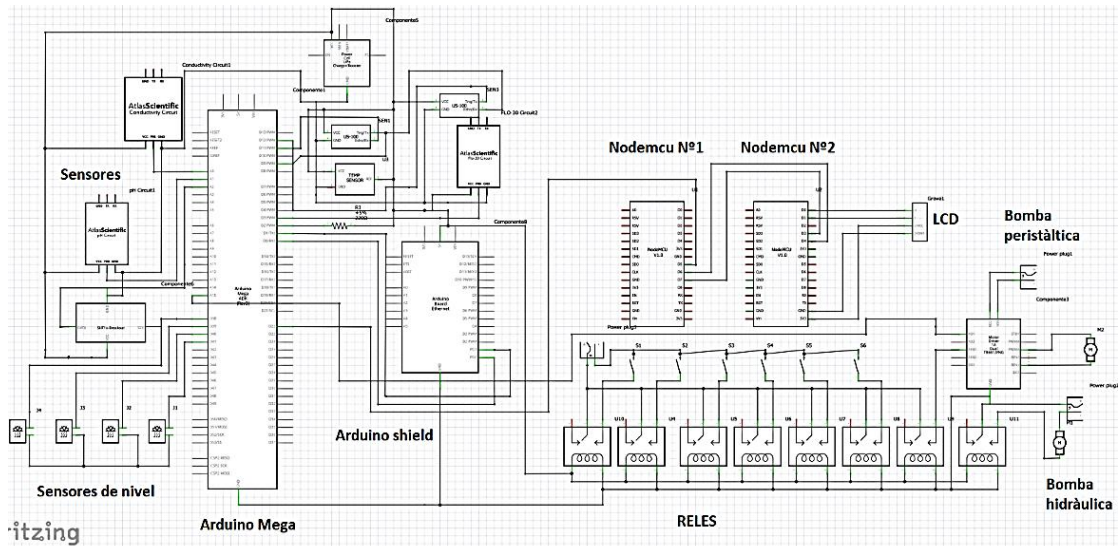


Figura 40 Esquemático electrónico.

Elaborado por los investigadores.

Diagramas de flujo para el Algoritmo de programación

El microcontrolador principal es el Arduino Mega, debido a su gran capacidad de memoria, es el encargado del procesamiento de todas las variables tanto de monitorización como de control, en la lógica de programación se debe empezar por la clasificación de la variable en base del tipo de dato que va a entregar el sensor, esto nos ayuda a distribuir los pines en base al requerimiento de cada módulo. En la figura 41 se muestra el diagrama lógico de sensores y actuadores.

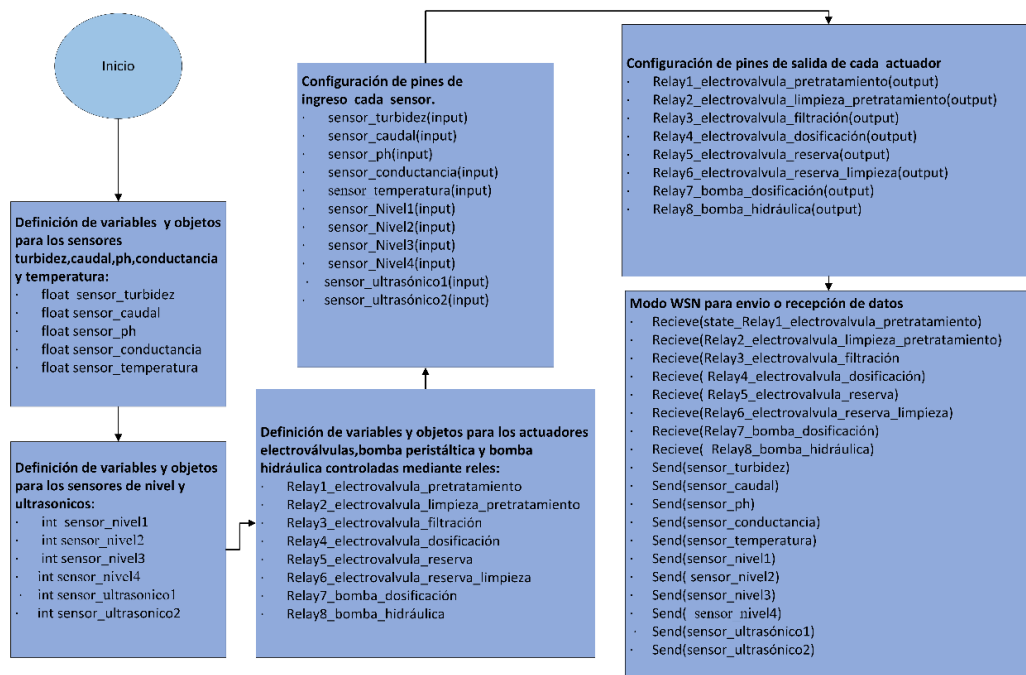
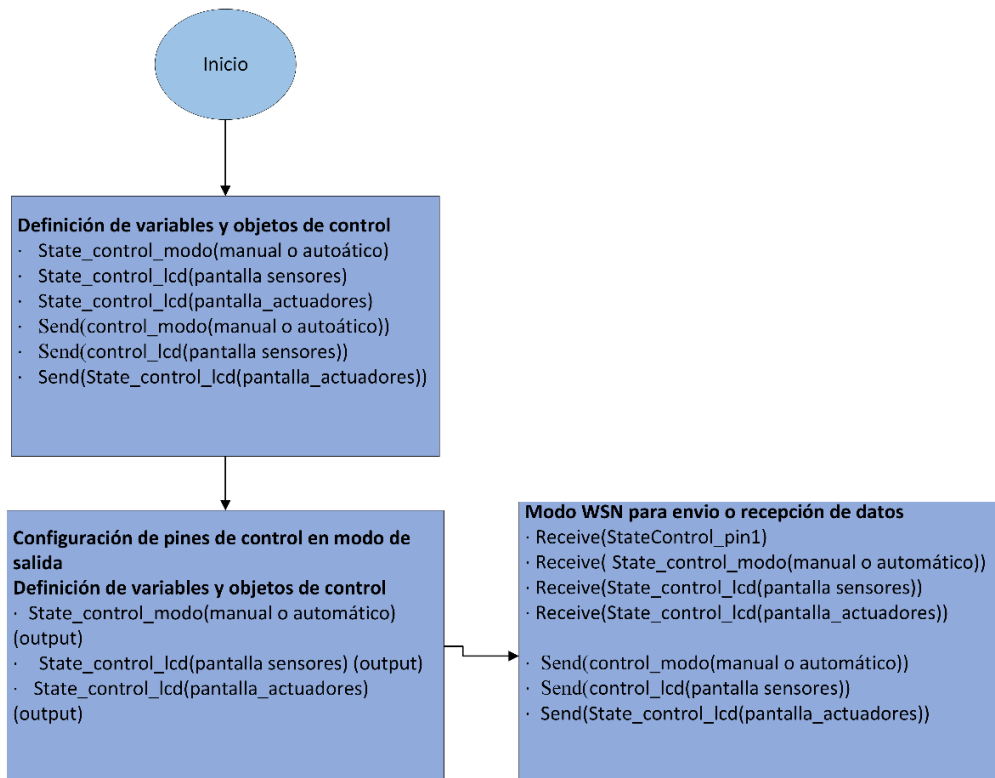


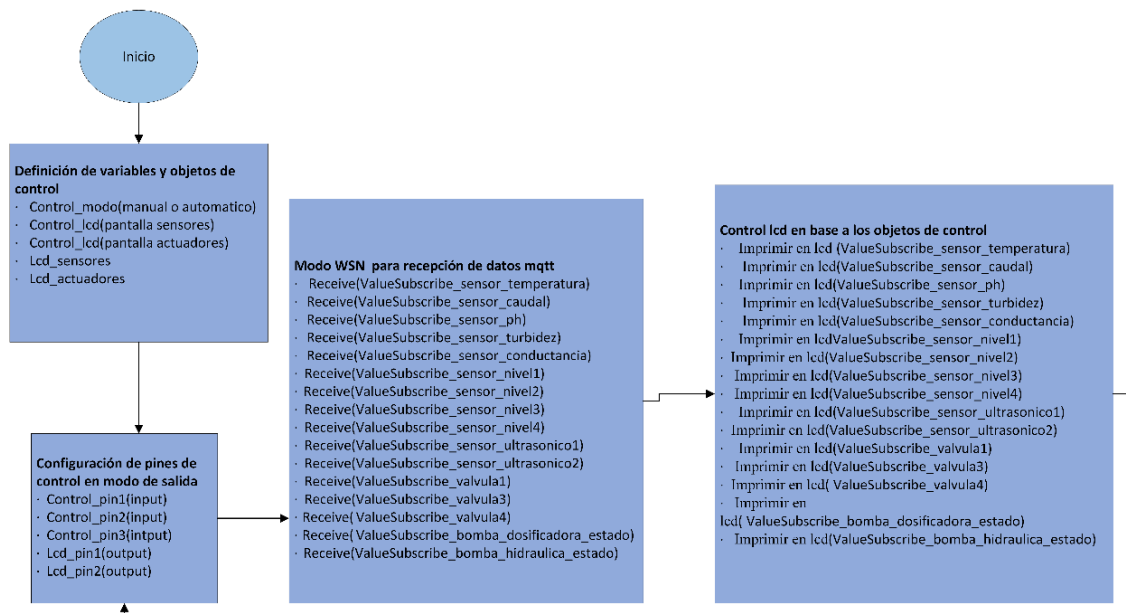
Figura 41 Diagrama de flujo esquemas lógicos sensores y actuadores.

Elaborado por los investigadores.

En los literales a y b de la figura 42, se muestran los diagramas lógicos de flujos de cada ESP8266 que interviene en el prototipo.



a) Diagrama de flujo esquemas control esp8266.



b) Diagrama de flujo esquemas control esp8266 #2.

Figura 42 Diagramas de flujo esquemas control esp8266

Elaborado por los investigadores.

3.2.3.2. Capa de análisis y procesamiento

Conexión del microcontrolador al servidor

Para poder insertar los datos obtenidos en sensorización por los módulos se programa un script independiente que inserte los valores posteados por los microcontroladores en las tablas alojadas en la base de datos, para lo cual se utilizó PHP como lenguaje de programación para dicha tarea.

A continuación, se muestra la figura 43, donde se visualiza el archivo alojado dentro de la carpeta “insert”.

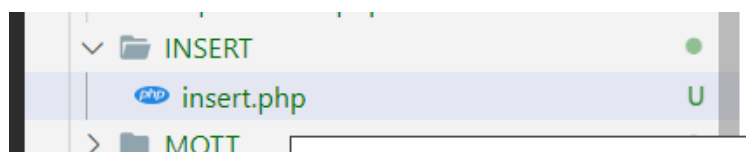


Figura 43 Archivo PHP de inserción de datos.

Elaborado por los investigadores.

El archivo de inserción de datos cuenta con el contenido descrito a continuación:

- Este código PHP establece una conexión a la base de datos “GAD_SALCEDO_MYSQL”, posterior a eso inserta los datos en cada columna de la tabla “base_table1”.
- Primero se establecen los parámetros de conexión (nombre de host, nombre de la base de datos, nombre de usuario y contraseña). Luego se crea un objeto mysqli con estos parámetros y se comprueba si la conexión se ha realizado correctamente. Si la conexión falla, se muestra un mensaje de error.
- A continuación, se establece la zona horaria y se crean variables para la fecha y la hora actuales utilizando la función date ().
- Después, se recuperan los valores de un formulario HTML utilizando la variable \$_POST y se asignan a variables locales para su posterior uso en la consulta SQL.
- Finalmente, se construye una consulta SQL para insertar los valores en la tabla base_table1, utilizando los valores de las variables locales. La consulta se ejecuta utilizando la función query() del objeto mysqli y se comprueba si se ha ejecutado correctamente. Si la consulta se ejecuta correctamente, se muestra un mensaje de éxito. Si la consulta falla, se muestra un mensaje de error junto con el mensaje de error proporcionado por el objeto mysqli.


```

<?php

$host = "localhost";
$dbname = "GAD_SALCEDO_MYSQL";
$username = "saull1";
$password = "Saul#0507";

$conn = new mysqli($host, $username, $password, $dbname);

if ($conn->connect_error) {
    die("Connection failed: " . $conn->connect_error);
}

else { echo "Connected to mysql database. "; }

date_default_timezone_set('America/Guayaquil');
$d = date("Y-m-d");
$t = date("H:i:s");

{
    $val = $_POST['temp'];
    $val2 = $_POST['turb'];
    $val3 = $_POST['caud'];
    $val4 = $_POST['pH'];
    $val5 = $_POST['cond'];
    $val6 = $_POST['nive1'];
    $val7 = $_POST['nive2'];
    $val8 = $_POST['nive3'];
    $val9 = $_POST['nive4'];
    $val10 = $_POST['ultr1'];
    $val11 = $_POST['ultr2'];
    $val12 =
$_POST['nive11'];
    $val13 =
$_POST['nive22'];
    $val14 =
$_POST['nive33'];
    $val15 =
$_POST['nivee'];
    $val16 =
$_POST['cloro'];
    $val17 =
$_POST['bomba'];

    $sql = "INSERT INTO
base_table1 (TEMPERATURA, TURBIDEZ, CAUDAL, PH, CONDUCTANCIA, STATE_PRETRA
TAMIENTO, STATE_FILTRACION, STATE_DESINFECCION, STATE_RESERVA, NIVEL_DES
INFECCION, NIVEL_RESERVA, TANQUE_PRETRATAMIENTO, TANQUE_FILTRACION, TANQ
UE_DESINFECCION, TANQUE_RESERVA, BOMBA_CLORO, BOMBA_AGUA, FECHA, HORA)
VALUES
('".$val."', '".$val2."', '".$val3."', '".$val4."', '".$val5."', '".$val6
."', '".$val7."', '".$val8."', '".$val9."', '".$val10."', '".$val11."',
'".$val12."', '".$val13."', '".$val14."', '".$val15."', '".$val16."', '".$v
al17."', '".$d."', '".$t.'')";
    if ($conn->query($sql) === TRUE ) {
        echo "Values inserted in MySQL database table.";
    } else {
        echo "Error: " . $sql . "<br>" . $conn->error;
    }
}
}

```

Dentro de nuestro microcontrolador se debe programar las tareas para envío de los diferentes datos procesados, tomando en cuenta que se debe apuntar a la dirección de almacenamiento de nuestro archivo de inserción, la codificación se puede observar a continuación:

- La variable "review" une múltiples variables POST recibidas a través de un formulario web, que contienen valores de varios sensores: temperatura, pH, conductancia, caudal y turbidez. Luego, mediante las funciones de la librería http, esta variable se conecta al servidor a través del puerto 80 y envía la información recopilada al archivo "insert.php", que se encuentra alojado en la nube.

```
review = (postVariable + temperaturav + postVariable2 + turbidezv +
postVariable3 + caudalv + postVariable4 + phv + postVariable5 +
conductanciav + postVariable6 + nivellv + postVariable7 + nivel2v +
postVariable8 + nivel3v + postVariable9 + nivel4v
+ postVariable10 + ultra3v + postVariable11 + ultra4v +
postVariable12 + nivell1vv + postVariable13 + nivel2vv +
postVariable14 + nivel3vv + postVariable15 + nivel4vv +
postVariable16 + clorov + postVariable17 + bombav);

{
  if (clientd.connect(server, 80)) {
    clientd.println("POST /GAD_PROYECTO/INSERT/insert.php
HTTP/1.1");
    clientd.println("Host: 35.203.41.231");
    clientd.println("Content-Type: application/x-www-form-
urlencoded");
    clientd.print("Content-Length: ");
    clientd.println(review.length());
    clientd.println();
    clientd.print(review);
    while(clientd.connected()){
      if(clientd.available()){

        char c = clientd.read();
        Serial.print(c);
      }
    }
  }

  if (clientd.connected()) {
    clientd.stop();
  }
}
```

Conexión de la base de datos con el servidor

Dentro de nuestro directorio raíz del proyecto web se encuentra alojada una carpeta de control en la misma que almacena un archivo con nombre “database.php”, dicho archivo es el encargado de establecer la conexión con la base de datos, necesarios para cada requerimiento en el desarrollo aplicativo web. En la figura 44 se muestra el archivo alojado en el directorio raíz del proyecto.

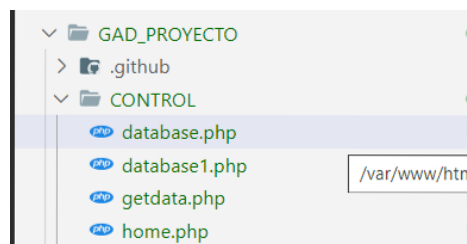


Figura 44 Directorio raíz proyecto GAD.

Elaborado por los investigadores.

El código que brinda la conexión con la base de datos se muestra a continuación:

- Se ha creado una clase llamada "Database" que almacena las credenciales necesarias para validar y acceder a una base de datos alojada en un servidor. La función "conect" se encarga de establecer la conexión, y se utiliza una sentencia lógica para controlar cualquier posible error de conexión.

```
<?php
class Database {
    private static $dbName = "GAD_SALCEDO_MYSQL"; //
    private static $dbHost = "localhost"; //
    private static $dbUsername = 'saul1'; //
    private static $dbUserPassword = 'Saul#0507'; //

    private static $cont = null;

    public function __construct() {
        die('Init function is not allowed');
    }

    public static function connect() {

    if ( null == self::$cont ) {
        try {
```

```

        self::$cont = new PDO(
"mysql:host=".self::$dbHost.";".self::$dbName,
self::$dbUsername, self::$dbUserPassword);
        } catch(PDOException $e) {
            die($e->getMessage());
        }
    }
    return self::$cont;
}

public static function disconnect() {
    self::$cont = null;
}
}
?>

```

Conexión de la base de datos Python

Una vez creada la tabla se procede a establecer un enlace con la tabla, mediante el script codificado en Python como se muestra en la figura 45. Es necesario escribir de manera correcta el nombre de la tabla, nombre de los campos y atributos correspondientes para el almacenamiento de datos cuando se procede el script.

```

sql = "INSERT INTO cloro(id, MODO DOSIFICADOR, ESTADO DOSIFICADOR, CANTIDAD AGUA, TEMPERATURA, TIEMPO DOSIFICACION, PWD VALUE, TIME)
VALUES (NULL,%s,%s, %s,%s,%s,%s)"
val = (mode,estado,cantidad,temp,ans,pwm,ts)

```

Figura 45 Codificación inserción datos tabla "cloro".

Elaborado por los investigadores.

Una vez ejecutado el script y obteniendo valores de temperatura por parte del microprocesador, en la figura 46 se puede visualizar como se inserta los datos una vez culminados cada ciclo de dosificación.

	id	MODO_DOSIFICADOR	ESTADO_DOSIFICADOR	TEMPERATURA	CANTIDAD_AGUA	TIEMPO_DOSIFICACION	PWD_VALUE	TIME
<input type="checkbox"/>	195	sindosificar	activo	18,38	6_litros	40,07	127	2023-01-03 08:00:00
<input type="checkbox"/>	196	sindosificar	activo	18,38	6_litros	40,07	127	2023-01-03 08:10:00
<input type="checkbox"/>	197	sindosificar	activo	18,38	6_litros	40,07	127	2023-01-03 08:20:00
<input type="checkbox"/>	198	sindosificar	activo	18,31	6_litros	40,46	127	2023-01-03 08:30:00
<input type="checkbox"/>	199	sindosificar	activo	18,38	6_litros	40,07	127	2023-01-03 08:40:00
<input type="checkbox"/>	200	sindosificar	activo	18,38	6_litros	40,07	127	2023-01-03 08:50:00
<input type="checkbox"/>	201	sindosificar	activo	18,31	6_litros	40,46	127	2023-01-03 09:00:00
<input type="checkbox"/>	202	sindosificar	activo	18,25	6_litros	40,79	127	2023-01-03 09:10:00
<input type="checkbox"/>	203	sindosificar	activo	18,25	6_litros	40,79	127	2023-01-03 09:20:00
<input type="checkbox"/>	204	sindosificar	activo	18,31	6_litros	40,46	127	2023-01-03 09:30:00
<input type="checkbox"/>	205	sindosificar	activo	18,19	6_litros	41,13	127	2023-01-03 09:40:00
<input type="checkbox"/>	206	sindosificar	activo	18,19	6_litros	41,13	127	2023-01-03 09:50:00

Figura 46 Tabla "cloro" inserción de datos.

3.2.3.3. Capa de aplicación

Para el desarrollo de la interfaz web se utilizó las siguientes herramientas.

Front-End

- **HTML**, utilizado para estructurar los contenidos de la página web
- **CSS**, empleado para ordenar las funciones, así como editar la apariencia del sitio web
- **JavaScript**, utilizado para crear interactividad en la página web volviéndola dinámica
- **Grafana**, empleado para ofrecer métricas de mejor comprensión para el usuario.

Back-End,

- **SQL**, utilizado para manejar los datos procedentes de sensorización, administrando la base de datos en conjunto con PHP.
- **PHP**, empleado en la conexión entre el servidor y la interfaz del usuario, así como de administrar el ingreso de usuarios, ejecución de sentencias en SQL, integración con los contenidos desarrollados en HTML.

Alojamiento en la nube

Para el desarrollo web se hace uso de “Google Cloud Platform”, el cual es una suite de infraestructuras y servicios disponible a nivel mundial. Este servicio ofrece la virtualización de una máquina virtual sin necesidad de tener hardware físico.

Uso de servicios en la nube de Google Cloud Platform

Para poder levantar una maquina virtualizada se creó una instancia nueva y se configuro según los parámetros que fueron necesarios para ejecutar nuestros servicios, por lo cual creamos una máquina basada en software libre “Ubuntu”, con 2 núcleos de procesado, 4 GB de RAM y 10 GB de almacenamiento suficientes para poder levantar nuestra aplicación Web. En la figura 47 se muestra la configuración de los parámetros necesarios para levantar una nueva instancia.

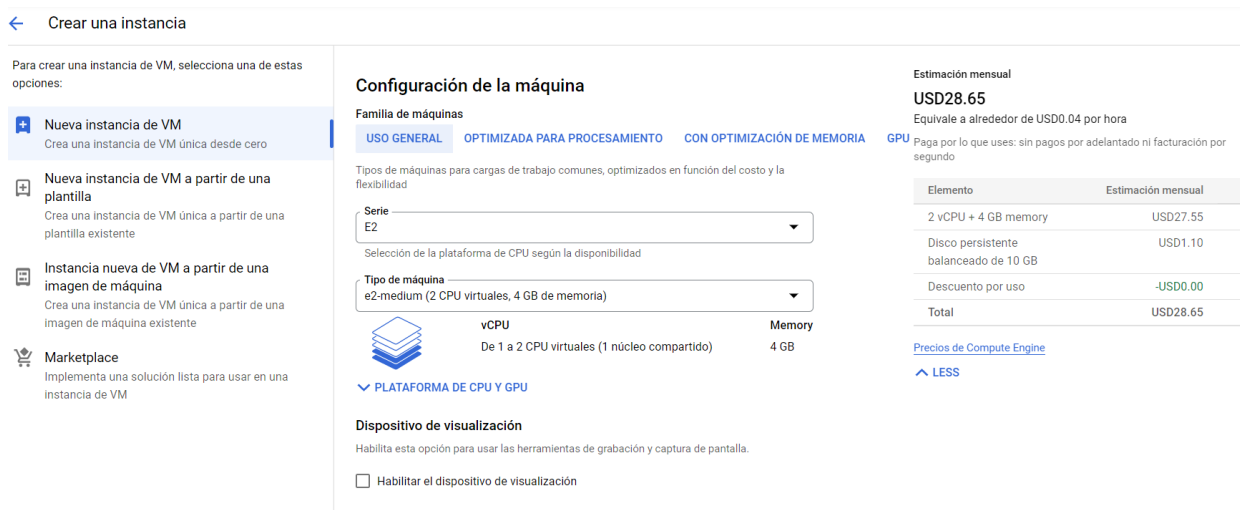


Figura 47 Creación de una instancia basado en Ubuntu 18.04

Elaborado por los investigadores.

Es importante configurar las reglas de firewall y habilitar puertos para poder enviar y recibir de manera remota con salida a red hacia internet.

Los protocolos http y https, bajo los puertos 80 y 443, son necesario para que el administrador pueda conectarse desde cualquier parte del mundo con simple acceso a internet. La habilitación de los puertos como se muestra en la figura 48.

Firewall ⓘ

Agrega etiquetas y reglas de firewall para permitir determinados tipos de tráfico de red desde Internet

- Permitir tráfico HTTP
- Permitir tráfico HTTPS

Figura 48 Firewall tráfico http y https.

Elaborado por los investigadores.

Los protocolos MQTT y MySQL bajos los puertos 1883 y 3306 son necesario para el enlace con la base de datos y para establecer la comunicación necesaria entre el servidor web y los microcontroladores. En la figura 49 se muestra la habilitación de los puertos dichos anteriormente.

Filtro Ingresar el nombre o el valor de la propiedad							
<input type="checkbox"/>	Nombre	Tipo	Destinos	Filtros	Protocolos/puertos	Acción	Prioridad
<input type="checkbox"/>	default-allow-http	Entrada	http-server	Intervalos de	tcp:80	Permitir	6
<input type="checkbox"/>	default-allow-https	Entrada	https-server	Intervalos de	tcp:443	Permitir	6
<input type="checkbox"/>	mqtt	Entrada	Aplicar a tod:	Intervalos de	tcp:1883	Permitir	6
<input type="checkbox"/>	todo	Entrada	Aplicar a tod:	Intervalos de	all	Permitir	6
<input type="checkbox"/>	default-allow-icmp	Entrada	Aplicar a tod:	Intervalos de	icmp	Permitir	6
<input type="checkbox"/>	default-allow-internal	Entrada	Aplicar a tod:	Intervalos de	tcp:0-65535 udp:0-65535 icmp	Permitir	6
<input type="checkbox"/>	default-allow-rdp	Entrada	Aplicar a tod:	Intervalos de	tcp:3389	Permitir	6
<input type="checkbox"/>	default-allow-ssh	Entrada	Aplicar a tod:	Intervalos de	tcp:22	Permitir	6

Figura 49 Firewall tráfico MQTT y MySQL.

Elaborado por los investigadores.

Estructura del diseño web

Los criterios de diseño del sistema IoT consideran varios parámetros, como la simetría y el equilibrio que permiten al operador visualizar los datos e identificar las diferencias entre ellos. Por lo tanto, se consideró los siguientes puntos:

- i.** Uso de botones para cambiar el estado operativo del sistema (manual o automático), botones para retroceder entre páginas, etc. El estado de cada proceso debe ser fácilmente identificable para que los operadores tomen medidas de ser necesario.
- ii.** La pantalla debe proporcionar información clara sobre las variables de control y el estado del equipo de control.
- iii.** La pantalla principal brindará acceso directo al estado de los módulos electrónicos, ya sean bombas hidráulicas o peristálticas, electroválvulas; sin que el operador tenga que regresar a múltiples pantallas para obtener la información resumida del estado de estas, por lo que la interfaz simplifica la activación de comandos para el operador.
- iv.** Páginas subdivididas para una información detallada de cada uno de los procesos de potabilización correspondientes tanto en la monitorización, control, y procesado Machine learning en tiempo real.
- v.** Los módulos electrónicos deben mostrarse en colores intermitentes según su estado; verde para funcionamiento normal, rojo para falla operativa, azul cuando las bombas dosificadoras están apagadas.

vi. Debe haber una sección de alertas que generen los distintos sensores y actuadores al sobrepasar ciertos límites de operación.

vii. Apartados para generar reportes del estado de la planta subdivididos en secciones de control y monitoreo.

Presentación de páginas web

La interfaz de administración de la planta de tratamiento consta de varias opciones relacionadas en base al tipo de operación manual y automático. La figura 50 muestra la distribución del aplicativo con cada una de sus funciones. Los archivos de programación resultantes del diseño del aplicativo web se pueden observar en el Anexo 10 sección b.

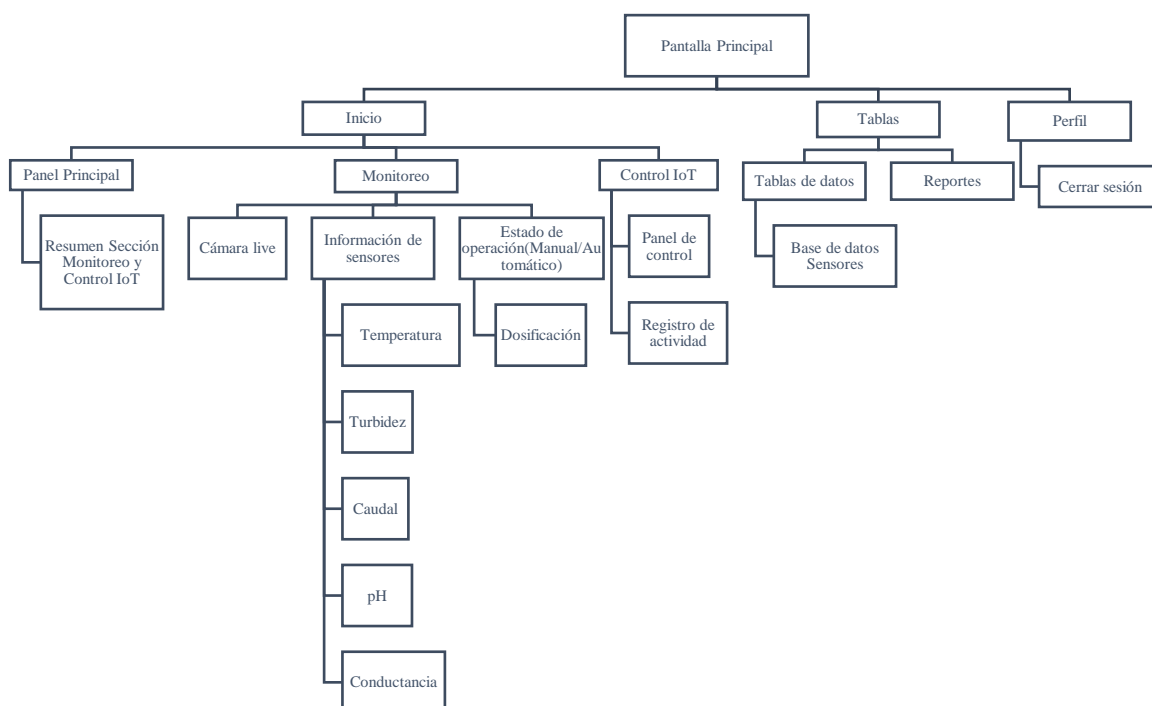


Figura 50 Diagrama de distribución de aplicativo web.

Elaborado por los investigadores.

3.2.3.3.1. Desarrollo de la Interfaz Web de inicio de sesión

Este apartado corresponde a la interfaz web principal que se direcciona por defecto al acceder al servidor, brindando acceso al administrador a la interfaz web de control y monitoreo.

En la figura 51 describe un diagrama de secuencia del Back-End programado para la interfaz de usuario previamente mencionado.

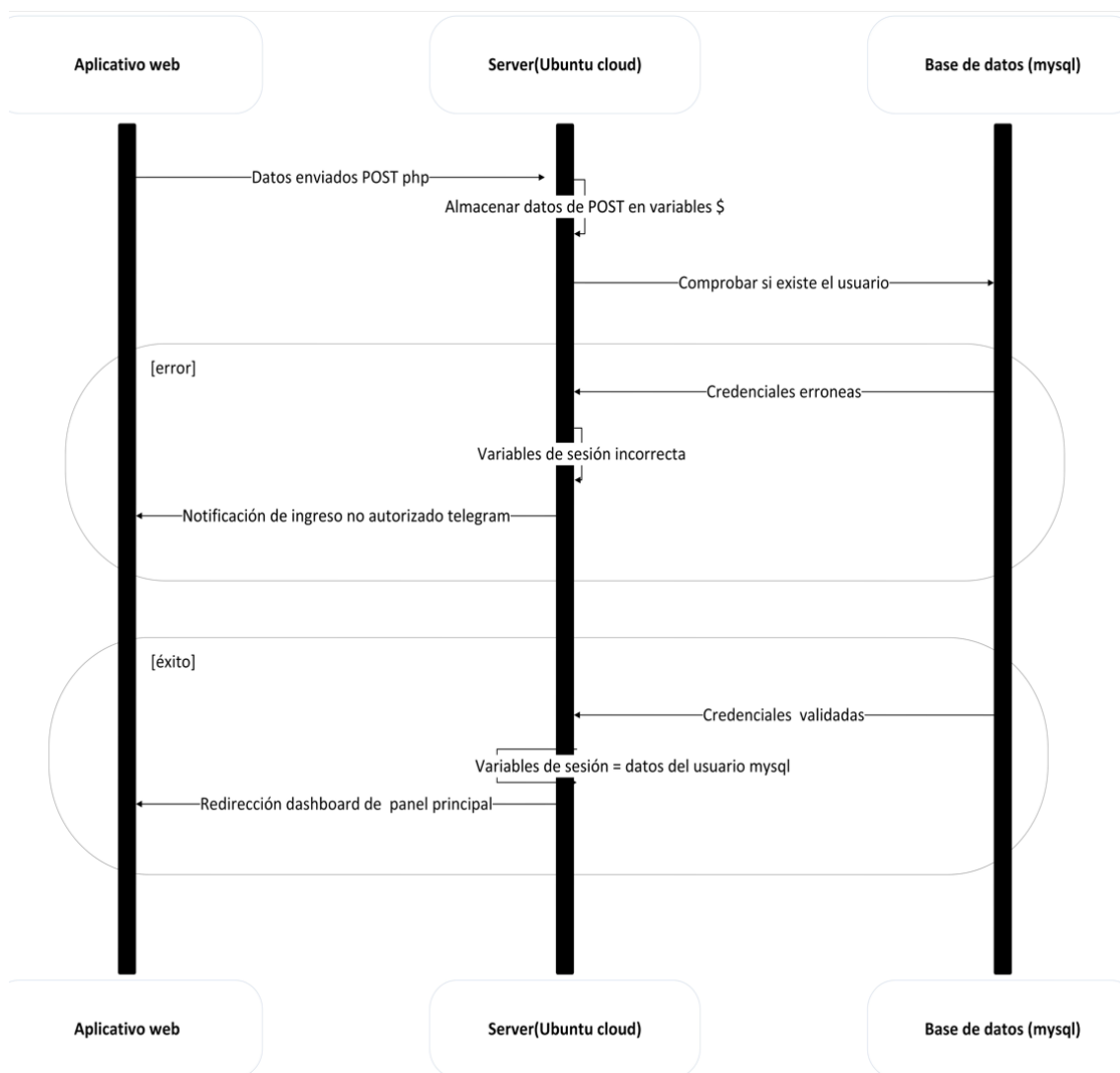
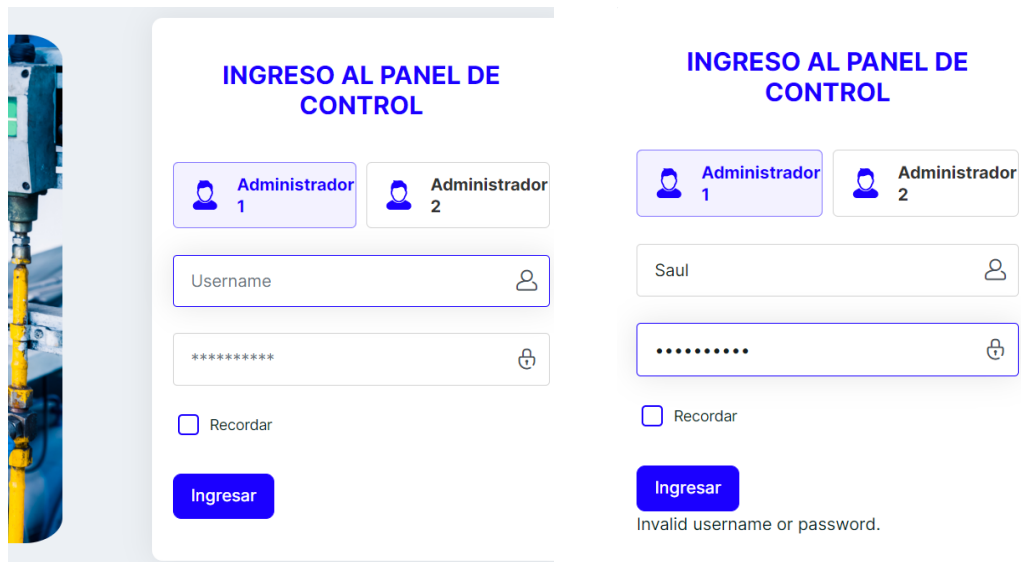


Figura 51 Diagrama de secuencia del “log In” back-end

Elaborado por los investigadores.

En la figura 52, los literales a y b muestran la Interfaz web principal con validación exitosa y errónea. El código fuente de programación del “login” se lo puede observar en el Anexo 13.



a) Interfaz de logeo

b) Ingreso erróneo

Figura 52 Ingreso erróneo

Elaborado por los investigadores.

3.2.3.2. Registro de un Administrador

Para el registro de controladores nuevos, uno de los administradores debe registrar desde la base de datos un nuevo elemento, empleando PhpMyAdmin asignándole un username y una clave cifrada, ilustrado en la figura 53.

Opciones extra

	user_id	username	password	name
<input type="checkbox"/> Editar Copiar Borrar	5	Saul	70670d859a29c035744d538c027519b4	ADMIN
<input type="checkbox"/> Editar Copiar Borrar	7	Xavier	25d55ad283aa400af464c76d713c07ad	ADMIN2
<input type="checkbox"/> Editar Copiar Borrar	8	ALVA	25d55ad283aa400af464c76d713c07ad	CONTROLADOR

Seleccionar todo Para los elementos que están marcados: Editar Copiar Borrar

Mostrar todo | Número de filas: 25 | Filtrar filas: Buscar en esta tabla | Ordenar según la clave:

Figura 53 Registro de credenciales nuevas.

Elaborado por los investigadores.

Para la generación de la clave se empleó una herramienta de encriptado en línea <https://www.md5hashgenerator.com/> en algoritmo MD5, para que dicha clave se

introduzca en la tabla de usuario en el apartado de password, con el cual el controlador acceda hacia el sitio web, indicado en la figura 54.

MD5 Hash Generator

Use this generator to create an MD5 hash of a string:

ADMIN_GAD_2022

Generate →

Your String	ADMIN_GAD_2022
MD5 Hash	68f917d778b48d54017e3eac3100969d <input type="button" value="Copy"/>
SHA1 Hash	87f02357ba5d3434da23d70ed20ac1451b0e8d40 <input type="button" value="Copy"/>

Figura 54 Encriptación de clave a "MD5 HASH".

Elaborado por los investigadores.

3.2.3.3. Desarrollo de la interfaz web de administrador

La interfaz de panel de control y monitorización de administración consta de varias subpáginas, codificadas con diferentes lenguajes de programación según la necesidad de los tipos de datos

existentes. En la Figura 55 se muestra el diagrama secuencial de la interfaz de panel de control, que posee tanto gráficas en tiempo real como tablas estáticas y dinámicas.

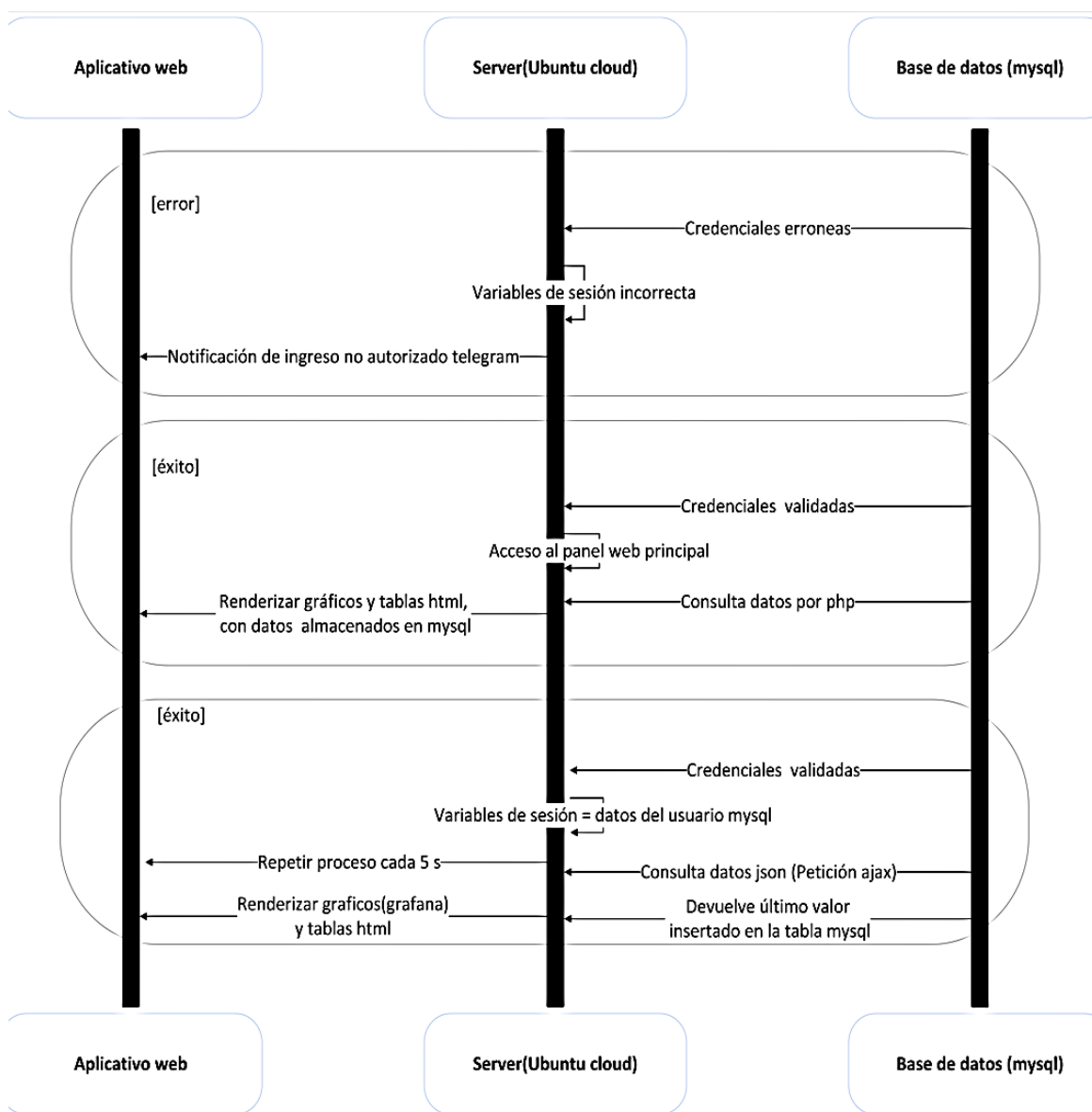
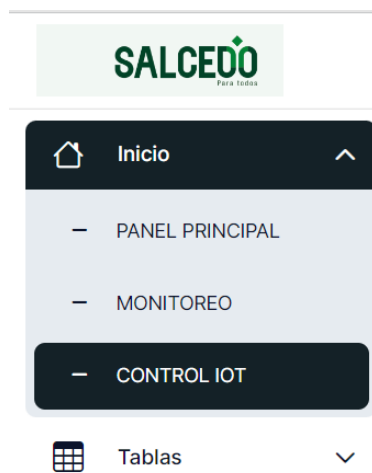


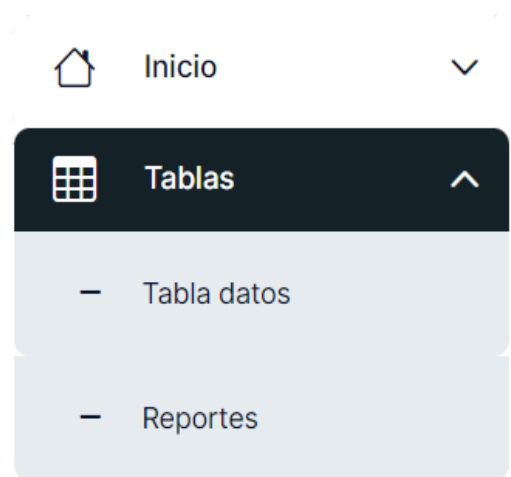
Figura 55 Diagrama de Secuencia panel de control web.

Elaborado por los investigadores.

La interfaz de panel principal brinda al operario varias opciones de procesamiento de datos al iniciar sesión que se puede ver en las literales a y b de la figura 56.



a) Despliegue menú Inicio



b) Despliegue menú tablas

Figura 56 Opciones de procesado de datos de salida.

Elaborado por los investigadores.

En la figura 57 se aprecia en la ventana inicial un resumen del estado de la planta de tratamiento, nivel de cada tanque y tipo de operación usada en ese momento (manual o automática).



Figura 57 Ventana inicial panel de control.

Elaborado por los investigadores.

En la figura 58 se muestra la interfaz de monitoreo, se tiene la opción de poder visualizar datos de sensorización insertados en la base de datos MySQL de los últimos 10 minutos, clasificado por tipos de módulos (actuadores y sensores), y estado de operación de la planta, dichos datos se presentan de forma más detallada y en tiempo real.

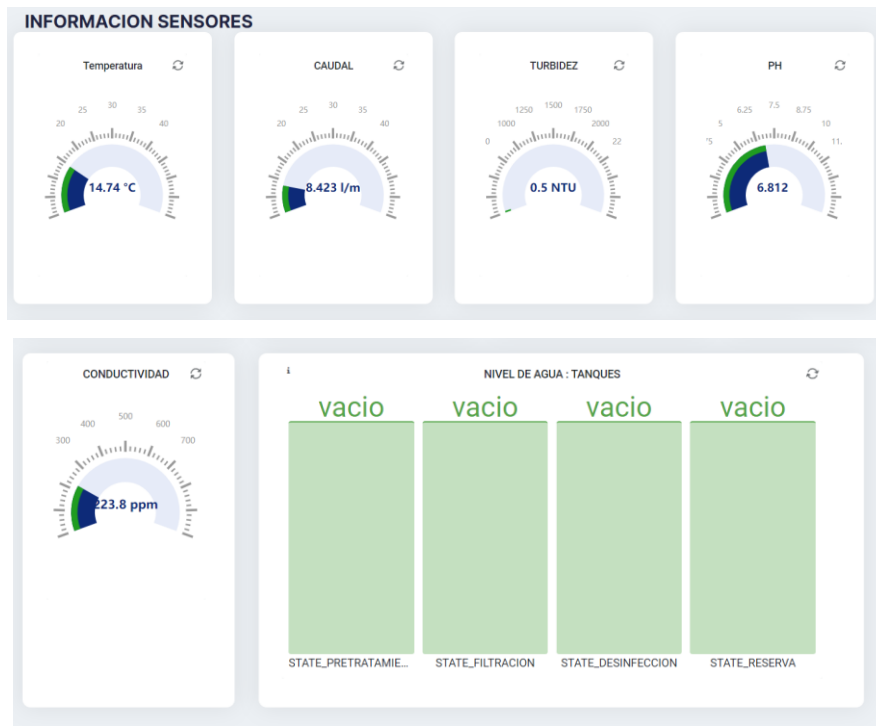


Figura 58 Interfaz de monitoreo "Sección información de sensores".

Elaborado por los investigadores.

El estado de operación, tanto del sistema en general como del apartado de dosificación se muestran separados por una slider, y cada uno cuenta con submenús para más información en cada modo (manual o automático). La figura 59 describe la sección de estado de operación del sistema.

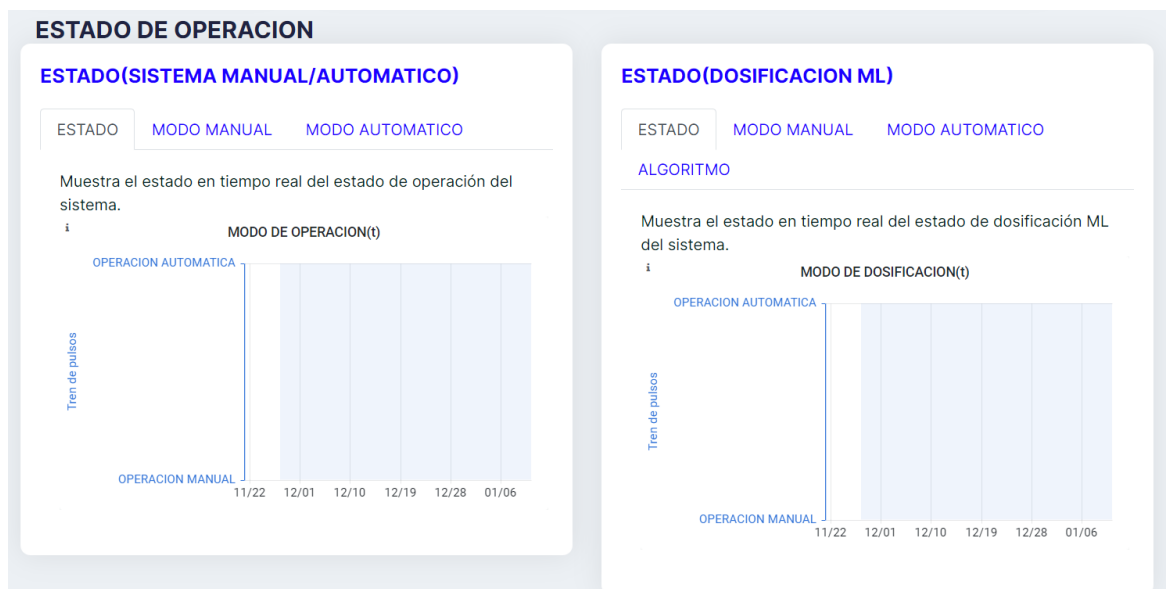


Figura 59 Interfaz de monitoreo "Estado de operación".

Elaborado por los investigadores.

La recopilación de los diferentes datos en función del tiempo es necesario para analizar el comportamiento de casa variable, así como obtener el valor medio, máximo, mínimo y varianza, resulta útil al momento de analizar el estado del agua cruda proporcionada por el afluente. La figura 60 muestra la pantalla de información de recopilación de datos.

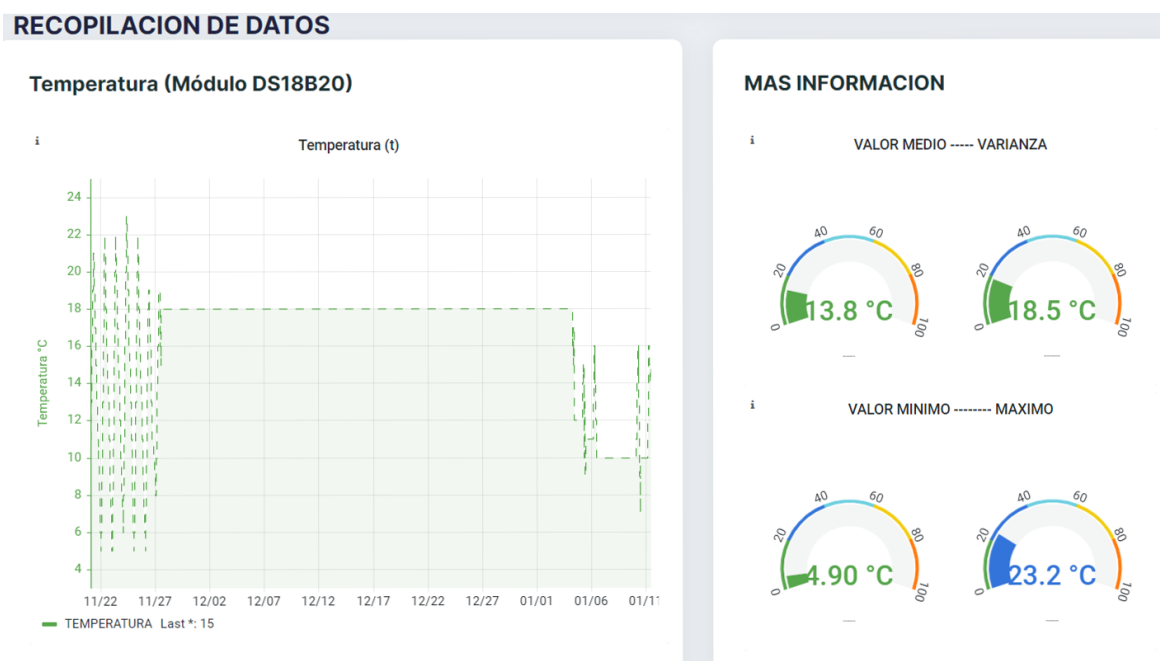


Figura 60 Interfaz de monitoreo "Sección recopilación de datos línea de tiempo".

Elaborado por los investigadores.

En el apartado de Control IoT, se puede acceder al panel de control denominado "El Carrizal" usando el indicador de operación se puede conocer el estado actual de operación, que puede ser cambiado pulsando en el botón "Control Modo" pasando de manual – automático, usando un deslizador. Para visualizar la información de los sensores y actuadores, la pantalla del panel los clasifica en dos botones independientes, los cuales se seleccionan de acuerdo a la información que se desee ver en la pantalla LCD. Esta descripción se muestra en la Figura 61.

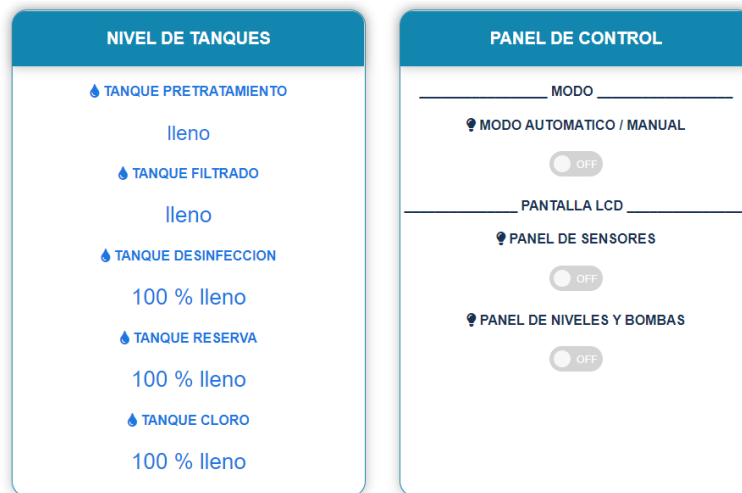


Figura 61 Panel de control ESP8266.

Elaborado por los investigadores.

En el apartado de log control manual MQTT se registra cada comando enviado mediante mensajería MQTT, en la figura 62 muestra la descripción dicha anteriormente.

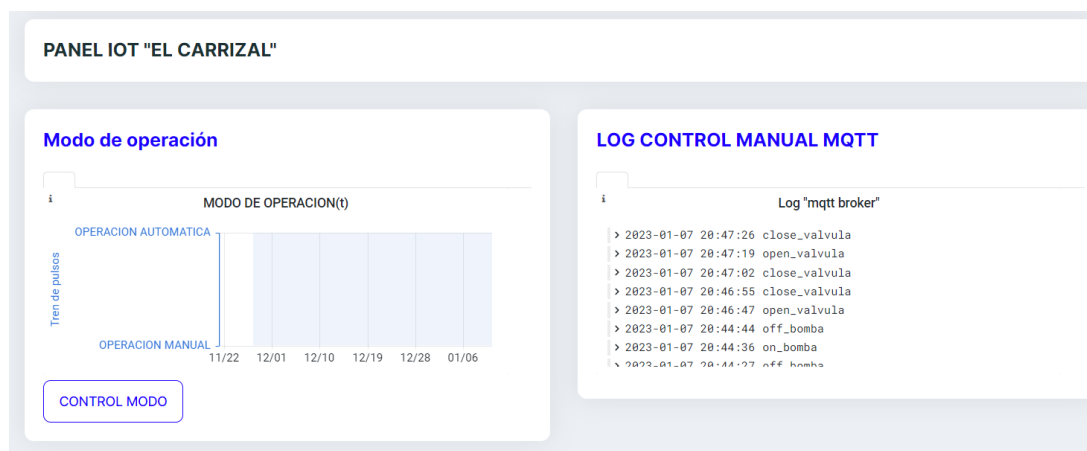


Figura 62 Panel de modo de operación.

Elaborado por los investigadores.

En la Figura 63 se muestra la ventana de control de tanques, la cual se divide en dos secciones. En la primera, se puede observar el estado de los tanques (llenos o vacíos), así como el de las electroválvulas, las cuales pueden ser controladas accediendo a la

subventana de control manual. Todo el registro de control se almacena y se puede acceder mediante el botón "LOG DE CONTROL".

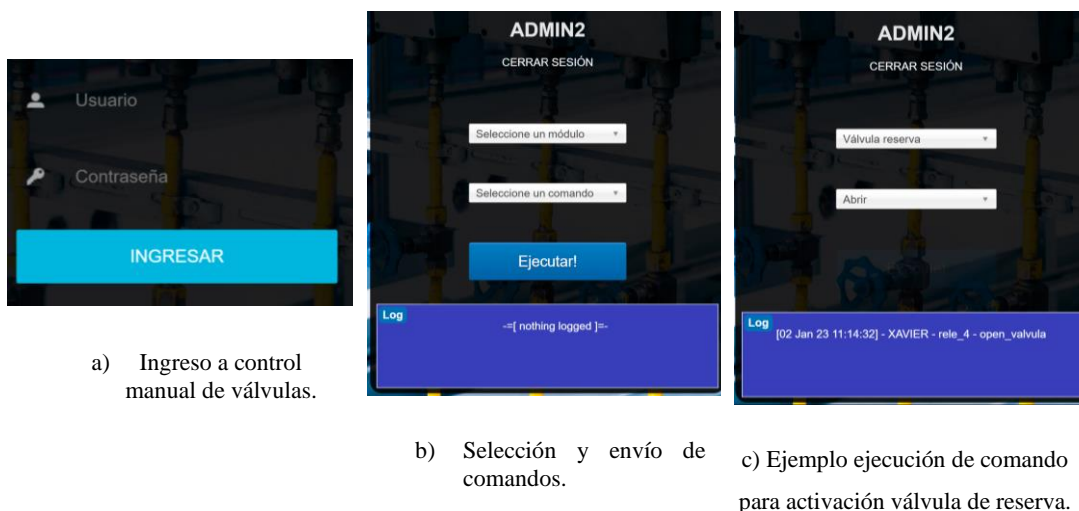


Figura 63 Control de tanques y estado.

Elaborado por los investigadores.

Para ingresar, se requiere usuario y clave para los administradores, tal como se ilustra en la sección b de la Figura 64. Una vez que se ha iniciado sesión, se accede a un menú en el que se pueden seleccionar siete opciones diferentes, correspondientes a cada una de las electroválvulas instaladas en el prototipo. Para cada electroválvula, se pueden ejecutar dos comandos: abrir o cerrar la válvula.

En la parte inferior se tiene un panel en el cual se refleja cada comando ejecutado.



a) Ingreso a control manual de válvulas.

b) Selección y envío de comandos.

c) Ejemplo ejecución de comando para activación válvula de reserva.

Figura 64 Modo de operación manual.

Elaborado por los investigadores.

En el control de dosificación ilustrado en la figura 65, se tiene dos apartados, el primero del nivel de desinfección en el cual se visualiza la operación y el nivel de los tanques de pretratamiento y reserva.

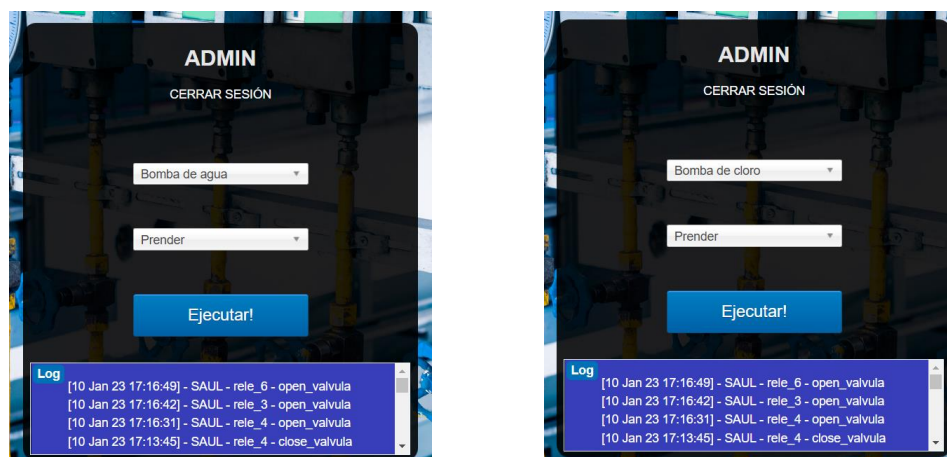
En el segundo apartado se tiene el estado de las bombas de dosificación y llenado del tanque de pretratamiento, al seleccionar el modo manual y al presionar el botón ingresar se despliega un menú para el inicio de sesión de los administradores, aquí se tiene dos opciones para seleccionar una bomba; la de agua usada en el ingreso del agua al pretratamiento y la de cloración que seleccionando la acción esta se encenderá o apagará al presionar el botón ejecutar.



Figura 65 Estado de bombas y nivel de tanque de dosificación.

Elaborado por los investigadores.

En los literales de la figura 66, se muestra el menú de control de bombas y en la parte superior de la imagen un pequeño log de los últimos comandos ejecutados.



a) Control de bomba peristáltica.

b) Control de bomba peristáltica.

Figura 66 Control de bombas

Elaborado por los investigadores.

3.2.3.4. Sistema de vigilancia y alerta automáticas

Vigilancia

Para la programación del apartado web que nos ofrece la visualización en tiempo real del video capturado por la cámara IP, se debe decodificar los datos entramados que se envían mediante el protocolo RTSP, y nuevamente codificarlo con el protocolo http para así poderlo embeber dentro de la aplicación web. La programación de la decodificación y codificación de video se lo puede visualizar en la figura 67, donde se utiliza las librerías flask y cv2 para poder decodificar la trama de video enviado bajo el protocolo rtsp, así codificándolo y enviándolo mediante el protocolo http.

```
> app.py > gen_frames
from flask import Flask, render_template, Response
import cv2
app = Flask(__name__)

def find_camera(id):
    cameras = ['rtsp://admin:OXZUUY@192.168.0.104:554/61']
    return cameras[int(id)]

def gen_frames(camera_id):
    cam = find_camera(camera_id)
    cap= cv2.VideoCapture(cam)

    while True:
        success, frame = cap.read()
        if not success:
            break
        else:
            ret, buffer = cv2.imencode('.jpg', frame)
            frame = buffer.tobytes()
            yield (b'--frame\r\n'
                + b'Content-Type: image/jpeg\r\n\r\n' + frame + b'\r\n')

@app.route('/video_feed/<string:id>/', methods=["GET"])
def video_feed(id):
    """Video streaming route. Put this in the src attribute of an img tag."""
    return Response(gen_frames(id),
                    mimetype='multipart/x-mixed-replace; boundary=frame')

@app.route('/', methods=["GET"])
def index():
    return render_template('index.html')

if __name__ == '__main__':
```

Figura 67 Procesado de video capturado.

Elaborado por los investigadores.

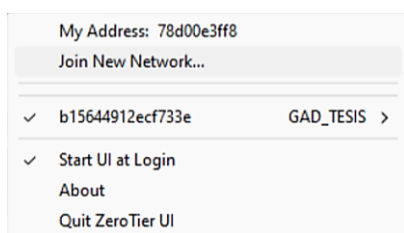
Debido a que con el procesado de video obtenemos un stream local, se interconecto la red local con la red de nuestro servidor alojado en la nube, por lo cual, se hizo uso de la herramienta “Zero-tier” que es basado en redes definidas por software. En la figura 68 se muestra el panel de control principal para el enrutamiento de las diferentes redes que envían los datos al servidor en la nube “Google Cloud”.

Auth?	Address	Name/Description	Managed IPs	Last Seen	Version	Physical IP
<input checked="" type="checkbox"/>	13fe476f0f 3e:60:31:69:fe:4b	Miner (description)	10.147.20.3 + 10.147.20.x	ONLINE	1.10.1	177.234.250.203
<input checked="" type="checkbox"/>	4bdeea9ca4 3e:38:11:c4:0d:e0	XAVIER (description)	10.147.20.131 + 10.147.20.x	ONLINE	1.10.1	2800:bf0:3005:1141:e467:4bd:3510:c25c
<input checked="" type="checkbox"/>	78d00e3ff8 3e:0b:1f:20:ae:bc	Saul (description)	10.147.20.108 + 10.147.20.x	ONLINE	1.10.1	177.234.250.203
<input checked="" type="checkbox"/>	d6f7330153 3e:a5:38:1d:90:17	GOOGLE CLOUD (description)	10.147.20.132 + 10.147.20.x	ONLINE	1.10.2	35.203.41.231
<input checked="" type="checkbox"/>	dd0b91ac8c 3e:ae:c4:bf:3d:c8	SERVER (description)	10.147.20.235 + 10.147.20.x	ONLINE	1.10.1	177.234.250.203

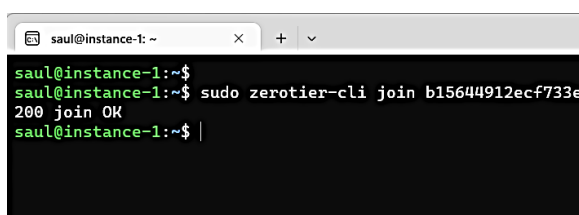
Figura 68 Configuración enrutamiento de redes "Zero-Tier".

Elaborado por los investigadores.

Debido que los sistemas operativos ofrecen un entorno diferente ya sea gráfico o por consola, se procede a enrutar las redes entre los dos hosts (local y en la nube), en las secciones a y b de la figura 69, se muestra el ingreso a la red virtual.



a) Enrutamiento de red virtual (host local, entorno “Windows”).



b) Enrutamiento de red virtual (host en la nube, entorno “Ubuntu”).

Figura 69 Enrutamiento de red virtual Zero-Tier.

Elaborado por los investigadores.

Enrutado las redes mediante Zero-Tier, mediante un script de HTML se embebió el video stream en el apartado web alojado en la nube, en la figura 70 se muestra el código utilizando la función href para embeber el video en un label:

```
<nav aria-label="breadcrumb" role="navigation">
  <ol class="breadcrumb">
    <li class="breadcrumb-item"><a href="index.html">Inicio</a></li>
    <a href="javascript:ventanaSecundariacamera('http://10.147.20.108:5000/')" type="button" class="breadcrumb-item">
    <li class="breadcrumb-item active" aria-current="page">
      Dashboard
    </li>
  </ol>
</nav>
```

Figura 70 Codificación Inserción video codificado.

Elaborado por los investigadores.

Las cámaras de la marca EZVIZ, cuentan con más funciones incorporadas en su aplicación oficial las mismas que se activaron acorde a los requerimientos de controlar el ingreso de personas a la sección de dosificación debido a que es una zona que requiere previa supervisión y manipulación para que se dosifique el agua sin ningún tipo de alteración. A continuación, se muestra la figura 71 activando las opciones especiales de la cámara.

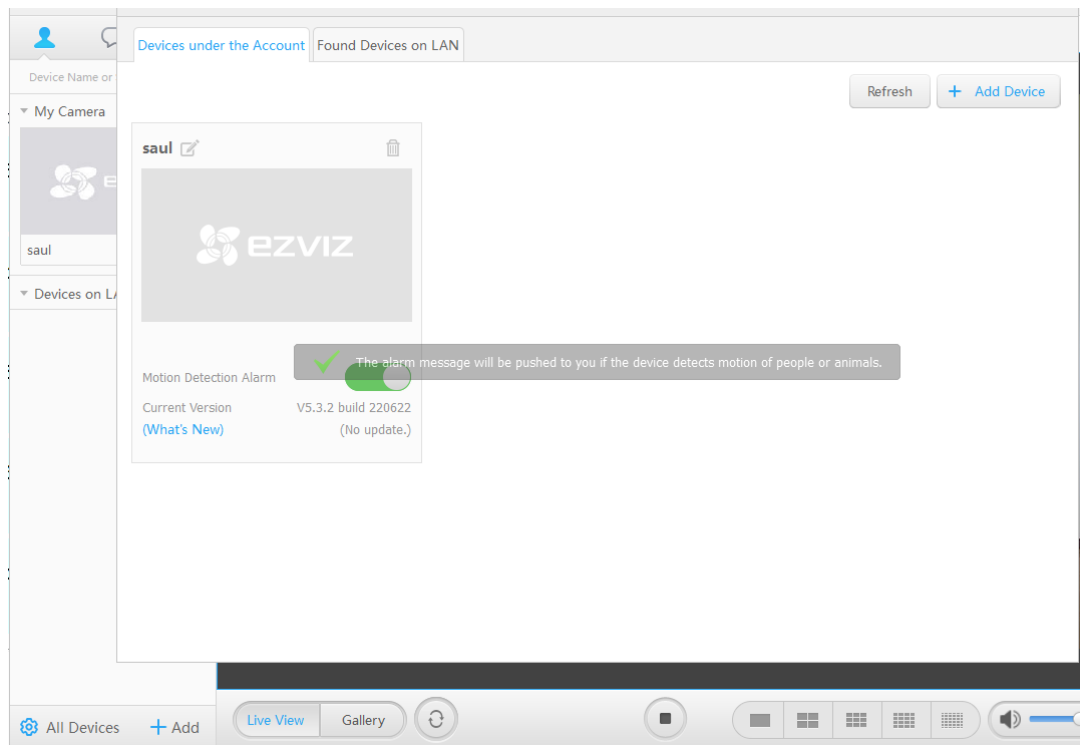


Figura 71 Funciones de detección de movimiento EZVIZ.

Elaborado por los investigadores.

En la figura 72 se hace una captura del video transmitido en formato RSTP.



Figura 72 Stream video rtsp

Elaborado por los investigadores.

Telegram

El diseño del sistema de alertas se basó en el bot que nos ofreció la aplicación de mensajería instantánea “Telegram”, el mismo que con unos simples códigos que se visualizan en la figura 73, nos ofrece una API apta para el consumo dentro del sistema de alertas.

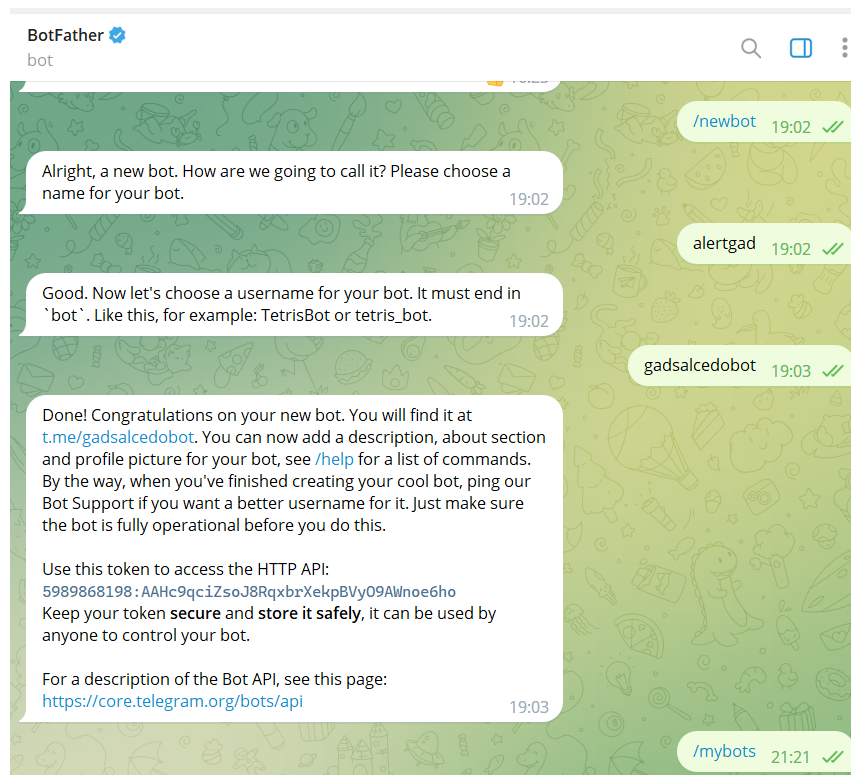


Figura 73 Alertas chat bot.

Elaborado por los investigadores.

Obtenido el API y usuario de nuestro bot, mediante código PHP se programa cada una de las alertas en el control de acceso “Log In”, control de válvulas y dosificación de nuestro sistema de monitoreo y control. A continuación, se aprecia la programación en cada sección descrita anteriormente:

Las alertas que se generan a partir de la manipulación de la interfaz web principal “Log-In”, depende de las credenciales validadas o erróneas al intentar acceder al panel de control. A continuación, se muestra el código PHP que consume el api de telegram, continuando con una sentencia para postear el token (mensaje), el mismo que se envía al asistente de chatbot de “telegram” creado anteriormente.

```
if($psq->num_rows == 1) {
    $psq->fetch();
    $_SESSION['user_id'] = $user_id;
    header('location:control.php');
    $apiToken =
"5989868198:AAHc9qciZsoJ8RqxrXekpBVy09AWnoe6ho";
    $data = [
        'chat_id' => '5941882586',
        'text' => 'INGRESO AUTORIZADO A CONTROL MANUAL VALVULAS
Y BOMBAS!'
    ];
    $response =
file_get_contents("https://api.telegram.org/bot$apiToken/sendMessage?"
. http_build_query($data) );

} else {
    $warn = 'Invalid username or password.';
    $apiToken = "5989868198:AAHc9qciZsoJ8RqxrXekpBVy09AWnoe6ho";
    $data = [
        'chat_id' => '5941882586',
        'text' => 'INGRESO NO AUTORIZADO A CONTROL MANUAL VALVULAS
Y BOMBAS!'
    ];
    $response =
file_get_contents("https://api.telegram.org/bot$apiToken/sendMessage?"
. http_build_query($data));
}
```

En la sección de control de válvulas, las alertas se generan a partir de la información del actuador y comando que se seleccione en la interfaz web codificada, la generación de la alerta se muestra a continuación:

- La función utiliza un token de API de Telegram. Al ejecutar un comando, recibe información de las variables de data, cliente, usuario y cmd, y las almacena en una variable de resultado que se envía mediante el método "HTTP built".

```

$sql = 'INSERT INTO `action_log`(`data`, `client`, `user`, `cmd`)
VALUES (' .
    time() . ', "' . $cid . '", "' . $un . '", "' . $cmd . '" )';
$apiToken =
"5989868198:AAHc9qciZsoJ8RqxrXekpBVy09AWnoe6ho";

$USER='USUARIO: ';
$ACT=' ACTUADOR: ';
$COM=' COMANDO: ';
$result = $USER.$un . $ACT. $cid . $COM. $cmd;
$data = [
    'chat_id' => '5941882586',
    'text' => $result
];
$emojicons = "\ud83d\udc4e";
$data1 = [
    'chat_id' => '5941882586',
    'text' => 'ALERTA COMANDO EJECUTADO!'
];
$response =
file_get_contents("https://api.telegram.org/bot$apiToken/sendMessage?"
. http_build_query($data1) );
$response1 =
file_get_contents("https://api.telegram.org/bot$apiToken/sendMessage?"
. http_build_query($data) );
}

```

Cada proceso requiere un control mediante alertas, por lo cual en la etapa dosificación también se hizo uso de la misma lógica de alerta mediante el api de Telegram adaptando al entorno de programación Python como se muestra a continuación:

- Cuando la variable str recibe los datos enviados por el tópico "carrizal/control", se activan sentencias que ejecutan un segundo script de alerta. Este script cuenta con el token y mensaje de alerta correspondiente, y envía las alertas al bot de Telegram mediante el método POST.


```

str3 = 'dosificar'
        activacion3=temp
        global t22
        t22 = ans*60
#         print(activacion2)
        if(mode == str3):
            exec(open("./ml_python_/code/alert4.py").read());
"-----"
alert4.py()
import requests
bot_token= '5989868198:AAHc9qciZsoJ8RqXbrXekpBVy09AWnoe6ho'
chat_id = '5941882586'

# Send a message.

#1. Method
text = "DOSIFICACION ACTIVADA !"
message = {'text': text}
requests.post("https://api.telegram.org/bot" + bot_token
+"/sendMessage?chat_id=" + chat_id ,data=message)

```

Cada una de las alertas generadas por los diferentes escenarios se enviarán instantemente al Bot programado en Telegram, la figura 74 muestra el envío de alertas generado por cada uno de los scripts.

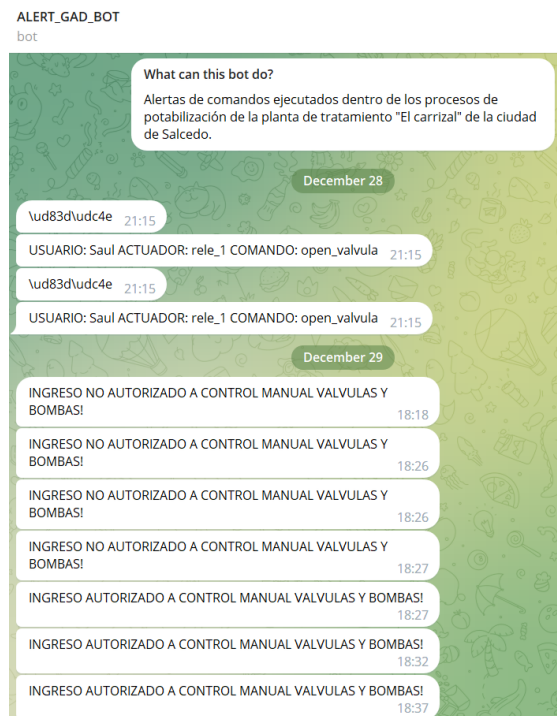


Figura 74 Envío de alertas Bot Telegram.

Elaborado por los investigadores.

3.2.4. Sistema de dosificación de hipoclorito de calcio

En base con los requisitos presentados por la norma INEN 1108 en relación con la cantidad de cloro residual presente en el agua se define un valor máximo de 1,5 mg/litro y mínimo de 1 mg/litro debido a que el cloro residual se desvanece en medida de que se el agua se distribuye a lo largo de la red. La dirección de saneamiento básico del ministerio de Salud del Perú un valor ≥ 1 mg/litro para el tanque de reserva y para redes de entre 0,5 – 0,8 mg/litro para las redes de distribución de agua [97].

Asumiendo un desvanecimiento de cloro residual en las redes se define como mínimo 1 mg/litro, por consiguiente, en referencia a la normativa ecuatoriana se considera al rango de concentración entre 1 – 1,5 mg/litro, en reservorio.

Para lograr dicha concentración se debe considerar ciertos parámetros:

- Tanque de polietileno de 250 a 1000 litros para la preparación de la solución madre del 0,5 al 3% [97].
- Tiempo de contacto entre el agua y la solución madre es de mínimo 30 minutos [97].

Contemplando los lineamientos obtenidos en las tablas CT se observa un salto entre concentraciones de 0,2 por lo cual se debe considerar tres concentraciones siendo 1.0, 1.2 y 1.4 mg/litro.

Al emplear un modelo a escala del presentado por la planta se debe fraccionar la dosis, considerando la concentración de hipoclorito de calcio, la cantidad de cloro a emplear, así como la duración de la solución preparada para lo cual se presenta los datos considerados para el caso recreado, disponibles en la tabla 23.

Tabla 23 Datos iniciales para cálculos caso Simulado

Caudal que deseamos clorar:	1 litros/seg
Volumen tanque Cloración:	3,78 L
Concentración deseada (Total)	1 mg/litro
Tipo Hipoclorito Calcio.	68%
Concentración solución Madre:	1000 ppm
Tiempo clorado por día	24 h/día

Elaborado por los investigadores.

Empezando con la cantidad de cloro necesitado para la preparación de la solución madre se calcula en base a su concentración y se ajusta el resultado a un valor fácil de medir, razón por la cual se aproxima de 0,0294 kg a 0,03 kg.

$$Peso = \frac{\text{Litros Concentración} * \text{Solución Madre}}{\% \text{Cloro} * 10} \quad (1)$$

$$Peso = \frac{3,78 \text{ lts} * 5000 \text{ ppm}}{68\% * 10} = 29,411 \text{ gr}$$

Peso Hipoclorito Necesitado: 29,411 gr

Peso Hipoclorito En Kilos 0,0294 kg

Peso Asumido en la solución. 0,03 kg

Al aproximar el valor de cloro residual a un valor superior la concentración también se eleva razón por la cual se la debe volver a estimar dicho valor.

$$\text{Concentración} = \frac{\% \text{ Cloro} * \text{Peso} * 10}{\text{Litros}} \quad (2)$$

$$\text{Concentración} = \frac{65\% * 30 \text{ gr} * 10}{3,78 \text{ lt}}$$

$$\text{Concentración} = 1020 \text{ ppm}$$

$$\text{Concentración} = 0.102 \%$$

Se procede a calcular la cantidad de cloro neto presente en el agua en base al caudal que vamos a manejar y la dosis de cloro residual deseado.

$$\text{Cloro Neto} \frac{\text{gr}}{\text{seg}} = \frac{\text{Caudal} \left(\frac{\text{lts}}{\text{seg}} \right) * \text{Concentración} \left(\frac{\text{mg}}{\text{litro}} \right)}{1000} \quad (7)$$

$$\text{Cloro Neto} \frac{\text{gr}}{\text{seg}} = \frac{0,066 \left(\frac{\text{lts}}{\text{seg}} \right) * 1 \text{ (mg/litro)}}{1000} = 0,001 \text{ gr/seg}$$

Se define la cantidad de hipoclorito de calcio necesitado en base a la concentración del compuesto.

$$\text{Hipoclorito} \left(\frac{\text{gr}}{\text{seg}} \right) = \frac{\text{Cloro neto} \left(\frac{\text{gr}}{\text{seg}} \right) * 100}{\% \text{Cloro}} \quad (8)$$

$$\text{Hipoclorito} \left(\frac{\text{gr}}{\text{seg}} \right) = \frac{0,000066 * 100}{68\%} = 0,0014 \text{ gr/seg}$$

Cantidad hipoclorito/seg= 0,0014 gr/seg

Calculamos la duración de la solución preparada en base al caudal y el tiempo clorado por día.

$$\text{Tiempo de duración(días)} = \frac{\text{Nueva Concentración Tanque (mg)/(litro)}}{\text{Tiempo clorado por día seg} * \text{Cloro neto (gr)/(seg)}} \quad (9)$$

$$\text{Tiempo de duración(días)} = \frac{5250 \text{ (mg/L)}}{86400 \text{ (seg)} * 0,0618 \text{ (gr/seg)}}$$

$$\text{Tiempo de duración(días)} = 11,806$$

Por último, se define la dosis a emplear en base al volumen del tanque, tiempo de duración y tiempo de clorado calculados anteriormente, obteniendo valor en ml o cantidad de gotas para añadir al agua cruda.

$$\text{Dosis Solución} \frac{\text{ml}}{\text{min}} = \frac{\text{Volumen Tanque (lts)} * 60000}{\text{Tiempo Duración Días (días)} * \text{Tiempo clorado por Día(seg)}} \quad (10)$$

$$\text{Dosis Solución} \frac{\text{ml}}{\text{min}} = \frac{500 \text{ (lts)} * 60000}{0,98 * 86400 \text{ (seg)}}$$

$$\text{Dosis Solución} \frac{\text{ml}}{\text{min}} = 1,17 \text{ ml/min}$$

$$\text{Dosis Solución} \frac{\text{gotas}}{\text{min}} = \text{Dosis solución} \frac{\text{ml}}{\text{min}} * 20$$

$$\text{Dosis Solución} \frac{\text{gotas}}{\text{min}} = 354,30 \frac{\text{ml}}{\text{min}} * 20$$

$$\text{Dosis Solución} \frac{\text{gotas}}{\text{min}} = 23,52 \text{ gotas/min}$$

Siendo el mismo procedimiento, en la tabla 24 se presenta los resultados obtenidos para concentraciones de 1.0, 1.2 y 1.4 mg/litro.

Tabla 24 Datos distintas preparaciones de solución.

Parámetro	Unidad	Valor		
Concentración	mg/litro	1.0	1.2	1.4
Peso	gr	29,412	29,411	30,7692308
	Kg	0,03	0,03	0,03
Peso Asumido en la solución	gr	30	30	30
Concentración	ppm	1020	1020	1020
	%	0,102	0,102	0,102
Cloro neto	gr/seg	0,001	0,001	0,001
Hipoclorito	gr/seg	0,001	0,001	0,001
Tiempo de duración de la solución	Días	11,806	9,838	8,433
	Horas	283	236	202
	Minutos	20	7	23
Dosis Solución	ml/min	1,191067	1,412	1,647
	gotas/min	23,82134	28,235	32,941

Elaborado por los investigadores.

Cálculo del valor CT

El valor CT mínimo recomendado es de 15 min.mg/litro (donde el pH del agua es <pH 8). Sin embargo, este es solo el valor CT mínimo recomendado y el valor CT real requerido para la situación específica puede ser diferente [98].

Para determinar el valor de CT requerido para una situación específica, se debe determinar el pH del agua, la temperatura del agua y concentración de cloro residual (o cloro libre) del agua [98].

Considerando los datos recogidos se contempla un pH promedio de 6,8 y una temperatura fluctuante de 5 °C y máxima de 22 °C, además en base a los registros otorgados por la municipalidad de Salcedo se conoce que el cloro residual medido en las mañanas fluctúa entre 0,7 y 0,8 mg/litro, reflejado en el Anexo 4.

Una vez que esta información está disponible, se requieren tablas de CT disponibles en el anexo 9, en base a los siguientes lineamientos.

1. Elegir la tabla CT correcta en función de la temperatura del agua; esto debe incluir el encabezado Inactivación de Giardia para cloro libre y la temperatura mínima que ha registrado para su agua [98].

Nota: Como las tablas se presentan solo en incrementos de 5 °C, si la temperatura del agua se encuentra entre dos tablas de temperatura (por ejemplo, 17 °C se encuentra entre las tablas de 15 y 20 °C), elija la tabla de temperatura más baja para los cálculos a fin de proporcionar un margen de la seguridad [98].

2. Seleccionar la columna de pH para el valor de pH máximo registrado para el agua [98].

Nota: Como los valores de pH dentro de las tablas son incrementos de pH 0,5, si el pH del agua cae entre dos valores de pH (por ejemplo, pH 7,2 cae entre pH 7,0 y 7,5 en las tablas), elija el valor de pH más alto en los cálculos para incluir un margen de seguridad [98].

3. Dentro de la columna de pH, seleccionar el valor de inactivación de registro adecuado; este valor es el grado en que se eliminan los organismos de Giardia durante la desinfección con cloro en condiciones particulares; los valores de reducción logarítmica requeridos generalmente se basan en la concentración de Giardia en el agua sin tratar [98].

En la tabla 25, se muestra el porcentaje de inactivación para cada nivel de Log.

Tabla 25 Porcentaje de inactivación.

Reducción en niveles de Log₁₀	Porcentaje de inactivación (%)
0,5 log	68,37
1 log	90,0
1,5 log	96,83
2 log	99,0
2,5 log	99,68
3 log	99,9

Elaborado por los investigadores.

4. Seleccionar la fila correcta en función de la concentración mínima de cloro residual [98].

Nota: Como los valores de cloro residual están en incrementos de 0,2 mg/ litro, si la concentración de cloro residual del agua se encuentra entre dos valores (p. ej., 0,9 mg/ litro se encuentra entre 0,8 y 1,0 mg/ litro dentro de las tablas), elija el valor más bajo.

concentración de cloro residual para que los cálculos incluyan un margen de seguridad (por ejemplo, 0,8 mg/litro) [98].

5. Desplazándose a través de esta fila, y trasladándose hacia abajo en la columna de inactivación de pH/log, se determina el valor de CT requerido (en min.mg/litro) [98].

Tiempo de contacto

Para determinar el valor real de CT, primero se debe determinar el tiempo de contacto para el almacenamiento específico (por ejemplo, tanque, depósito). Para ello, se debe calcular la cantidad de tiempo de detención que se produce en el almacenamiento [98].

Para asegurarse de que el tiempo de detención real (y, por lo tanto, el valor de CT) no se sobrestime, es importante utilizar:

- El volumen mínimo en el almacenamiento (50% de la capacidad del depósito).
- El caudal máximo de salida del almacenamiento.

En la tabla 26, se describe los cálculos del tiempo de contacto, en el caso real y recreación.

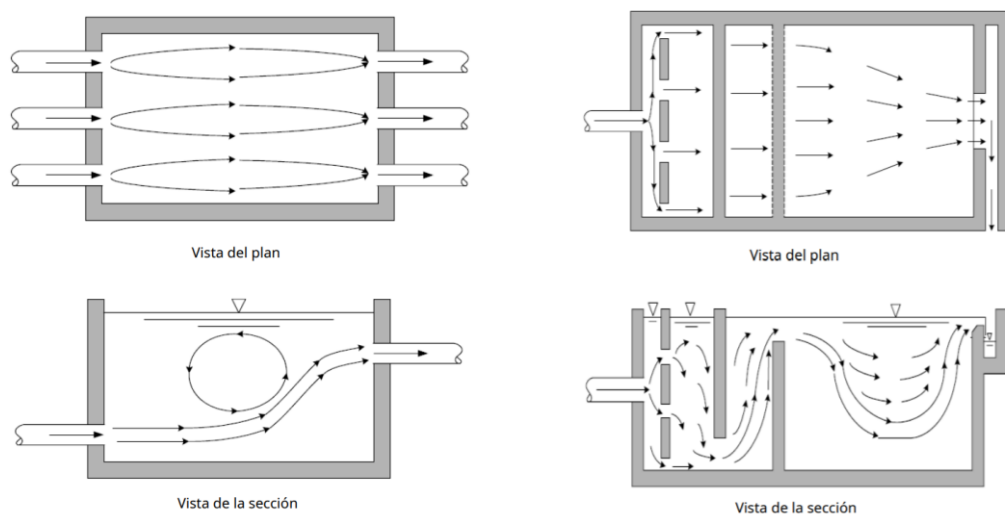
Tabla 26 Cálculo tiempo de contacto.

Caso Real	Recreación
Datos: Caudal: 3,708 m ³ /min Reserva: 70 m ³ x 50% = 35 m ³	Datos: Caudal: 0,001 m ³ /min Reserva: 0,02 m ³ x 50% = 0,01 m ³

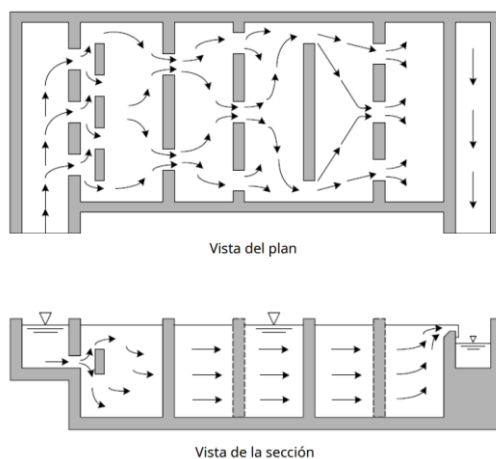
Elaborado por los investigadores.

Para determinar con precisión el valor de CT, también es importante considerar el potencial de cortocircuito dentro del almacenamiento, es decir, el flujo de agua preferencial dentro del almacenamiento como resultado de una mezcla incompleta. La presencia de un cortocircuito dentro de un almacenamiento puede implicar que toda el agua no tenga el mismo tiempo de detención (es decir, parte del agua pasa por el almacenamiento más rápidamente, mientras que parte del agua pasa por el tanque más lentamente). Para mejorar la mezcla dentro del almacenamiento y reducir el potencial

de cortocircuito, comúnmente se incorporan deflectores especiales en el diseño del almacenamiento. Para tener en cuenta los cortocircuitos dentro de un almacenamiento, se debe incorporar un factor desconcertante dentro de los cálculos del tiempo de contacto [98]. Los literales a, b, c de la figura 76, se muestran las distintas condiciones desconcertantes del agua en depósitos.



- a) Ejemplo de malas condiciones desconcertantes de un claro rectangular. b) Ejemplo de condiciones desconcertantes promedio de un claro rectangular.



- c) Ejemplo de condiciones desconcertantes superiores de un claro rectangular.

Figura 75 Distintas condiciones desconcertantes en depósitos de agua [99].

En la tabla 27 se describe detalladamente cada condición desconcertante junto con su valor, para seleccionar el dispuesto en la planta de tratamiento y por ello usado en el prototipo.

Tabla 27 Factor desconcertante.

Condición Desconcertante	Descripción	Factor Desconcertante
Desconcertado	Ninguno, cuenca agitada, muy baja relación de largo a ancho, altas velocidades de flujo de entrada y salida	0,1
Pobre	Entradas y salidas únicas o múltiples sin deflectores, sin deflectores dentro de la cuenca	0,3
Promedio	Entrada o salida con deflectores con algunos deflectores dentro de la cuenca	0,5
Superior	Deflector de entrada perforado, deflectores serpenteantes o intracuenca perforados, vertedero de salida o canaletas perforadas	0,7
Perfecto	Muy alta relación de largo a ancho (flujo de tubería), deflectores perforados de entrada, salida y dentro de la cuenca.	1,0

Elaborado por los investigadores basado en [100].

El factor desconcertante escogido con relación a la situación actual de la planta de tratamiento; responde a condición desconcertante pobre, debido a tener una sola entrada y salida sin deflectores. Razón por la cual la solución de cloro no se mezcla de forma correcta dentro del reservorio [98].

$$Tiempo\ de\ detención(min) = \frac{Min.\ vol\ del\ tanque\ (m^3)}{Máx.\ caudal\ (m^3/min)} \cdot factor\ desconcertante \quad (11)$$

El valor real de CT se calcula de la siguiente manera:

$$CT\ (min.mg/litro) = Cloro\ residual\ (mg/litro) \times Tiempo\ de\ contact\ (min) \quad (12)$$

Considerando pH de 6,8 y un valor de inactivación 2 tenemos.

1. En primera instancia se considera el caso real definiendo en base a las mediciones de cloración matutino como 0,8 mg/litro para la concentración y se procede a calcular el tiempo de contacto y valor de CT.

Tiempo de detención (min) = 2,83 minutos

CT (min.mg/litro) = 2,26 min.mg/litro

Valores para la inactivación de quistes de Giardia por 0.8 mg/litro de cloro libre

Tabla 28 Cálculo de inactivación en base a la temperatura.

	pH=7.0					
	Inactivación Log					
Inactivación Temperatura	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
> 0,5 °C	34	68	103	137	171	205
5 °C	24	49	73	97	122	146
10 °C	18	37	55	73	92	110
15 °C	12	24	37	49	61	73
20 °C	9	18	28	37	46	55
25 °C	6	12	19	25	31	37

Elaborado por los investigadores basado en [58].

Caso Real Requerido

Tiempo de detención (min) = 2,83 minutos

Actual CT (min.mg/litro) = 2,83 min.mg/litro

Valores para la inactivación de quistes de Giardia por 1.0 mg/litro de cloro libre.

En la tabla 29 se describe los valores de CT para el caso real con un pH dentro del rango de 6.8 y 7.0.

Tabla 29 Cálculo de CT caso real requerido.

	pH=7.0					
	Inactivación Log					
Inactivación Temperatura	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
> 0,5 °C	35	70	105	140	175	210
5 °C	25	50	75	99	124	149
10 °C	19	37	56	75	93	112
15 °C	13	25	38	51	73	76
20 °C	9	19	28	37	47	56
25 °C	6	12	19	25	31	37

Elaborado por los investigadores basado en [58].

2. Considerando la recreación a escala tomando los datos de la tabla 26, se calcula los mismos parámetros haciendo énfasis en el porcentaje de inactivación siendo el máximo disponible por tabla, diversificando los cálculos en base a tres concentraciones.

El valor de tiempo de detención se mantiene como constante para el cálculo del valor de CT en cualquier concentración deseada.

$$\text{Tiempo de detención (min)} = 0,01 \div 0,001 \times 0,3$$

$$\text{Tiempo de detención (min)} = 3 \text{ min}$$

Se procede al cálculo de valor de CT en los tres casos teniendo.

a. Concentración 1 mg/litro

$$\text{Actual CT (min.mg/litro)} = 3 \text{ min.mg/litro}$$

b. Concentración 1.2 mg/litro

$$\text{CT (min.mg/ litro)} = 3,6 \text{ min.mg/ litro}$$

En la tabla 30 se describe los valores de CT para 1.2 mg/litro acorde a los rangos de temperatura.

Tabla 30 Cálculo CT concentraciones 1.2 mg/litro.

	pH=7.0					
	Inactivación Log					
Inactivación	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
Temperatura						
> 0,5 °C	32	72	108	143	179	215
5 °C	25	51	76	101	129	155
10 °C	19	38	57	76	95	114
15 °C	13	25	38	51	63	76
20 °C	10	19	29	38	48	57
25 °C	6	13	19	25	32	38

Elaborado por los investigadores basado en [58].

c. Concentración 1.4 mg/litro

CT (min.mg/litro) = 4,2 min.mg/litro

En la tabla 31 se detalla el valor de CT para la concentración de 1.4 mg /l, para cada temperatura correspondiente.

Tabla 31 Cálculo CT concentraciones 1.4 mg/litro.

	pH=7.0					
	Inactivación Log					
Inactivación	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
Temperatura						
> 0,5 °C	37	74	111	147	184	221
5 °C	26	52	78	103	129	155
10 °C	19	39	58	77	97	116
15 °C	13	26	39	52	65	78
20 °C	10	19	29	39	48	58
25 °C	7	13	20	26	33	39

Elaborado por los investigadores basado en [58].

Acciones a corto plazo

- Optimizar (es decir, aumentar) la dosis de cloro para aumentar el valor real de CT (asegurándose de que se tengan en cuenta los valores guía máximos y las consideraciones estéticas para el cloro).
- Reducir el caudal de la planta para aumentar el tiempo de detención y, por lo tanto, el valor CT.
- Optimizar (es decir, reducir) el pH del agua para disminuir el valor de CT requerido (asegurándose de que el pH del agua se mantenga >pH 6,5 y se tenga en cuenta cualquier impacto en la calidad del agua corriente abajo asociado con un pH más bajo (potencial de corrosión) [98].

Acciones a largo plazo

- Mejorar las condiciones de mezclado/desconcertado dentro del tanque.
- Proporcionar capacidad de almacenamiento adicional (es decir, para aumentar el tiempo de detención) [98].

3.2.4.1. Calibración de Bomba Peristáltica

En base a los cálculos de dosificación obtenidos se debe configurar a la bomba peristáltica Kamoer KPHM100 para dosificar un flujo de entre 1,19 y 1,66 ml, con la consideración que al aplicar un valor de CT la dosificación se realiza en un lapso variable por lo que no se debe activar de forma continua, razón por la que este dispositivo puede ser usado en casos para los que el tiempo de dosificación sea despreciable.

Este modelo tiene la capacidad de dosificar hasta 100 ml por minuto a su máxima capacidad en operación DC mientras en motor paso a paso de hasta 65 ml por minuto; considerando esta premisa se debe manejar el PWM para poder optimizar la operación de la bomba en base a los requerimientos. Para la generación de la señal PWM que alimentará a la bomba peristáltica se utiliza el pin digital 35 del microcontrolador Arduino, el mismo que tomará un valor de ciclo de trabajo comprendido entre 0 y 255.

En la tabla 32 se observa el voltaje promedio que entregará el módulo PWM a la bomba peristáltica, en base al valor declarado en el pin del microcontrolador.

Tabla 32 Ciclo de trabajo en base al voltaje PWM.

Argumento analogWrite()	Ciclo de trabajo	Voltaje promedio
0	0%	0 V
63	25%	3
76	30%	3,6
127	50%	6
178	70%	8,4
255	100%	12

Elaborado por los investigadores basado en [101] .

En base a las especificaciones de la bomba peristáltica, la dosificación máxima es de 100 ml/min y en base a los voltajes promedios entregados por el módulo PWM se determina el caudal que entrega la bomba, estos valores se presentan en la tabla 33.

Tabla 33 Cálculo de gotas en base al voltaje promedio PWM.

Argumento analogWrite()	Voltaje promedio	Gotas/min
0	0 V	0
63	3	500
76	3,6	600
127	6	1000
178	8,4	1400
255	12	2000

Elaborado por los investigadores basado en [101] .

Por lo cual en consideración a un óptimo funcionamiento de la bomba se emplea un ciclo de trabajo intermedio de 127 para un caudal de 100 gotas/min, teniendo así un voltaje aceptable para el funcionamiento.

3.2.5. Algoritmo de inteligencia artificial aplicado a la dosificación de hipoclorito de calcio

3.2.5.1. Recolección de datos iniciales

La totalidad de los datos utilizados en este trabajo fueron obtenidos y recopilados en conjunto con la dirección de agua potable y alcantarillado del cantón Salcedo.

Empleando los estudios realizados al afluyente que ingresa a la planta de potabilización “El Carrizal” plasmados en el “Informe Monitoreo Calidad De Agua” desarrollado en enero del

2021 por la municipalidad de Salcedo; disponibles en el anexo 6. Se definió los lineamientos para limitar el caso de estudio de CT escogiendo un pH reiterativo e invariante en el tiempo.

Se pudo verificar la relación del cloro residual con la temperatura, empleando los datos del 2021 con las mediciones de cloro residual matutinas realizadas por un operario de la planta en la cuarta semana del mes de noviembre de 2022, reflejadas en la “Medición de cloración matutina”, detalladas en el anexo 4 y las mediciones realizadas por los investigadores plasmadas en la “Bitácora de cloración diaria”, especificados el anexo 5.

Los datos fueron recolectados mediante la sensorización aplicando un prototipo que recrea las etapas de potabilización usadas en la planta “El Carrizal”; y almacenados en una base de datos.

3.2.5.2. Preparación del dataset

Habiendo obtenido 1008 muestras en el lapso de 21 al 27 de noviembre de 2022, se procede a adecuar un archivo de Excel donde se tenga concentrado los datos de la bitácora de cloro residual, así como la base de datos donde se almacenen parámetros recogidos con sensorización.

Unificando parámetros como pH, temperatura, cantidad de cloro residual deseado en la variable CT; se obtiene una función entrada/salida siendo la variable dependiente (CT) y la variable independiente (Temperatura).

En relación con la etapa de diseño para determinar el nivel de inactivación se planteó un modelo de inactivación variable, definido de la siguiente manera.

- Los valores de cloro residual son establecidos en base a los lineamientos de la norma INEN 1108 y la dirección de saneamiento básico del ministerio de Salud del Perú definiendo como límite de 1,5 mg/litro o 15000 ppm de cloro residual en reservorio como máximo y mínimo de 1 mg/litro.
- El valor de pH es definido en la escala de 7 debido a que en el cantón salcedo en base a datos históricos se conoce que este parámetro fluctúa entre 6,7 y 6,8 dando cumplimiento al Texto unificado de legislación secundaria de medio ambiente (TULSMA)”, de incrementarse dicho valor la planta de tratamiento debería cambiar de estructura.
- Se establece varios rangos de temperatura flexibilizando el valor de CT, evitando saltos abruptos entre cada escala.

Obteniendo la tabla 34 para concentraciones variables.

Tabla 34 Tabla de CT para concentración variable

Temperatura [°C]	Max	29,9	27,5	24,9	22,5	19,9	17,5	14,9	12,5	9,9	7,5	4,9
	Min	27,6	25	22,6	20	17,6	15	12,6	10	7,6	5	0,5
Inactivación [log]		0,5	1	1	1,5	1,5	2	2	2,5	2,5	3	3
Concentración [mg/litro]	1	6	12	19	28							
	1,2					38	51	76	95			
	1,4									129	155	221
CT [min mg/litro]		6	12	19	28	38	51	76	95	129	155	221

Elaborado por los investigadores.

Empleando la tabla de CT para concentración variable se debe considerar que, aun aplicando las distintas concentraciones de 1, 1.2 y 1,4 se tiene saltos muy abruptos entre valores de temperatura aledaños, lo que se busca solucionar aplicando el modelo desarrollado con IA. La selección del dataset se lo puede ver apreciar en la tabla 35

Tabla 35 Dataset CT.

Temperatura [°C]	CT [min]
10,9	95
10,8	95
10,8	95
10,6	95
10,6	95
10,5	95
10,3	95
10,3	95
10,4	95
10,4	95
10,3	95
10,3	95
10,1	95

En base a los datos recogidos se obtiene la figura de distribución, donde se observa una función que se puede representar de forma lineal o polinomial aplicando un modelo de regresión, para lo cual se debe evaluar el mejor modelo, ilustrado en la figura 76.

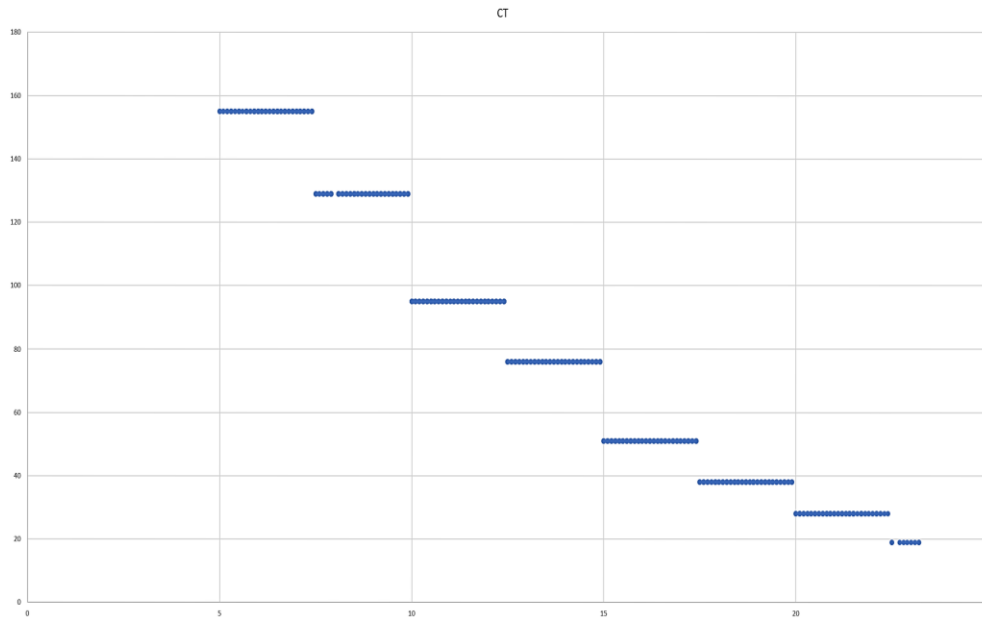


Figura 76 Gráfica del CT en función de la temperatura.

Elaborado por los investigadores.

3.2.5.3. Análisis de los algoritmos de regresión

Los valores futuros se predicen con la ayuda de algoritmos de regresión en Machine Learning. Los datos de entrada/datos históricos se utilizan para predecir una amplia gama de valores futuros mediante la regresión. La etiqueta en ML se define como la variable objetivo (que se va a predecir) y la regresión ayuda a definir la relación entre la etiqueta y los puntos de datos. La regresión es un tipo de aprendizaje supervisado en ML que ayuda a mapear una relación predictiva entre etiquetas y puntos de datos [102].

En el presente trabajo se analizó tres algoritmos dentro de la clasificación de regresión (lineal, polinómico y SVR), para la selección del algoritmo que mejor se ajusta al comportamiento de los datos de CT y temperatura en el proceso de dosificación a continuación se detalla cada uno de los algoritmos utilizados.

Regresión Lineal

Las variables de salida se predicen mediante una variable significativa del conjunto de datos (valores futuros). $Y = b \cdot x + c$ es la fórmula para la regresión lineal. Las suposiciones hechas por

los algoritmos de regresión lineal son que la relación entre la entrada y la salida es lineal. Habrá una pérdida en la producción si las variables dependientes e independientes no se muestran en la misma línea en una regresión lineal [102].

Este algoritmo sufre mucho de valores atípicos. Razón por la que, al asumir una relación lineal entre las variables simplifica demasiado los problemas del mundo real y, por lo tanto, no se recomienda para situaciones reales [103].

Regresión Polinomial

Un polinomio de grado n se utiliza como base para la relación entre una variable independiente (x) y una variable dependiente (y) en el procedimiento de regresión conocido como regresión polinomial. La siguiente es la ecuación para la regresión polinomial:

$$y = b_0 + b_1x + b_2x^2 + b_3x^3 \dots + b_nx^n$$

A menudo se lo conoce como el escenario único de regresión lineal múltiple en el aprendizaje automático. La ecuación de regresión lineal múltiple incluye ciertos términos polinómicos para convertirla en regresión polinomial. Es un modelo lineal que ha sufrido modificaciones para aumentar la precisión. Las características originales se convierten en características polinómicas con el grado necesario ($2, 3 \dots n$), y después de eso, se utiliza un modelo lineal para modelarlas [102].

Terminado el proceso de codificación sigue probar los distintos algoritmos de inteligencia artificial, mediante métodos de evaluación como Coeficiente de determinación y el error cuadrático medio para los siguientes modelos de regresión basados en IA.

- Lineal
- Polinomial
- Máquinas de vectores de soporte

SVR

Es una técnica de aprendizaje automático utilizada para resolver problemas de regresión. Al igual que en el caso de la clasificación SVM, SVR intenta encontrar un hiperplano que mejor separe los datos de entrenamiento en dos clases. La diferencia es que, en lugar de clasificar datos, SVR se utiliza para predecir un valor continuo. Esto lo hace ajustando una función lineal a los datos y utilizando los vectores de soporte para regularizar la solución y evitar el sobreajuste [106].

3.2.5.4. Evaluación de los algoritmos

Para la evaluación de los tres algoritmos seleccionados (Lineal, SVR y Polinomial), se programó en Python la implementación de los tres algoritmos secuencialmente para analizar su comportamiento con los datos.

A continuación, se presenta el código de análisis, mismo que sirvió como base para el desarrollo del control de dosificación que se encuentra alojado en el Anexo 10 sección c y d:

1. Importar librerías

```
import numpy as np
```

```
import pandas as pd
```

```
import matplotlib.pyplot as plt
```

```
from beautifultable import BeautifulTable as BT
```

```
from sklearn.model_selection import train_test_split as separar
```

```
from sklearn.preprocessing import MinMaxScaler
```

2. Importar datos

```
datos = pd.read_csv('CTT.csv')
```

```
datos.head(1200)
```

```
plt.plot(datos['Temperatura'], datos['CT'])
```

```
plt.xlabel('Temperatura °C')
```

```
plt.ylabel('CT minutos')
```

```
plt.show()
```

```
X = datos.iloc[:, 0:1].values
```

```
y = datos.iloc[:, 1].values
```

4. Separar en Entrenamiento y Validación

```
X_train, X_test, y_train, y_test = separar(X, y, test_size=0.3, random_state=0)
```

```
print('La forma de X_train es: ', X_train.shape)
```

```
print('La forma de y_train es: ', y_train.shape)
```

```
print('La forma de X_test es: ', X_test.shape)
```

```
print('La forma de y_test es: ', y_test.shape)
```

```
La forma de X_train es: (706, 1)
```

```
La forma de y_train es: (706,)
```

La forma de X_test es: (303, 1)

La forma de y_test es: (303,)

5. Escalar los datos

```
\nescaladorX = MinMaxScaler()\nX_train = escaladorX.fit_transform(X_train)\nX_test = e  
scaladorX.transform(X_test)\n\nescaladorY = MinMaxScaler()\ny_train = escaladorY.fit_tra  
nsform(y_train)\ny_test = escaladorY.transform(y_test)\n'
```

6. Hacemos una regresión lineal, SVR, y polinómica para ver cual se ajusta más a los valores reales de CT.

```
from sklearn.linear_model import LinearRegression as LR  
regresor_lineal = LR()  
regresor_lineal.fit(X, y)
```

LinearRegression()

7. Ajustar el modelo

```
from sklearn.preprocessing import PolynomialFeatures as Polinomio
```

7.1. Transformación de la variable

```
polinomizador = Polinomio(degree=4)  
X_poli = polinomizador.fit_transform(X)
```

7.2. Regresión lineal con el resultado la transformación previa

```
from sklearn.linear_model import LinearRegression as LR  
regresor_polinomico = LR()  
regresor_polinomico.fit(X_poli, y)  
pd.DataFrame(X_poli).head()
```

7.3 SVR de soporte de regresión

```
from sklearn.svm import SVR  
regresor=SVR(kernel='rbf')  
regresor.fit(X,y)
```

SVR()

8. Echemos un vistazo a la pinta que tienen nuestros ajustes

8.1. Para la regresión lineal

```
plt.scatter(X, y, color = 'blue',label="train")  
plt.plot(X, regresor_lineal.predict(X), color = 'black',label="predicción")  
plt.title('Regresión Lineal')
```

```
plt.xlabel('Temperatura°C')
plt.ylabel('CT minutos ')
plt.legend()
plt.show()
```

8.2. Para Soporte de vector de regresión

```
plt.scatter(X,y,color='red',label="train")
plt.plot(X,regresor.predict(X),color='blue',label="predicción")
plt.title('SVR SOPORTE DE REGRESION')
plt.xlabel('Temperatura°C')
plt.ylabel('CT minutos ')
plt.legend()
plt.show()
```

8.3. Para Soporte de vector de regresión

```
plt.scatter(X, y, color = 'blue',label="train")
plt.plot(X, regresor_polinomico.predict(X_poli), color = 'black',label="predicción")
plt.title('Regresión polinómica')
plt.xlabel('Temperatura°C')
plt.ylabel('CT minutos ')
plt.legend()
plt.show()
```

9. Cálculo del error

```
from statsmodels.tools.eval_measures import rmse
RMSE_Lineal = np.sum(rmse(y, regresor_lineal.predict(X)))/len(y)
RMSE_SVR = np.sum(rmse(y, regresor.predict(X)))/len(y)
RMSE_Polinomico = np.sum(rmse(y, regresor_polinomico.predict(X_poli)))/len(y)
print('RMSE Lineal = ', RMSE_Lineal)
print('RMSE SVR = ', RMSE_SVR)
print('RMSE Polinomico = ', RMSE_Polinomico)

RMSE Lineal = 0.009650928000510352
RMSE SVR = 0.006751987519238708
RMSE Polinomico = 0.006832905751269362

print(regresor_polinomico.intercept_)
print(regresor_polinomico.coef_)
res = "y = f(x) = " + str(regresor_polinomico.intercept_)
```

```

for i, r in enumerate(regresor_polinomico.coef_):
    res = res + " + {}".format("%x^{}".format("%r" % r, i)
print(res)

128.9321906301456
[ 0.00000000e+00 2.29968203e+01 -4.25375047e+00 2.14928669e-01
-3.58537949e-03]

```

Una vez evaluados los tres algoritmos (lineal, svr y polinómico), debido al tipo de datos dispersos y en forma escalada como se muestra en la figura 77, se obtuvo el resultado representadas en los literales a, b y c de la figura 78, donde al aplicar cada algoritmo nos da un comportamiento similar en los algoritmos svr y polinómico con la única diferencia de una mejor adaptación en temperaturas altas por parte del algoritmo polinómico.

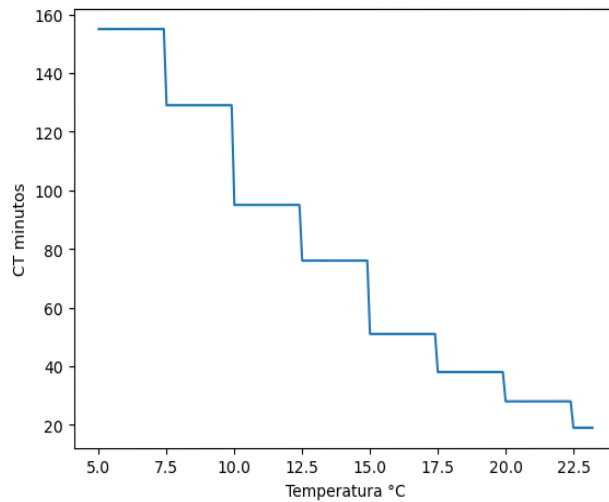
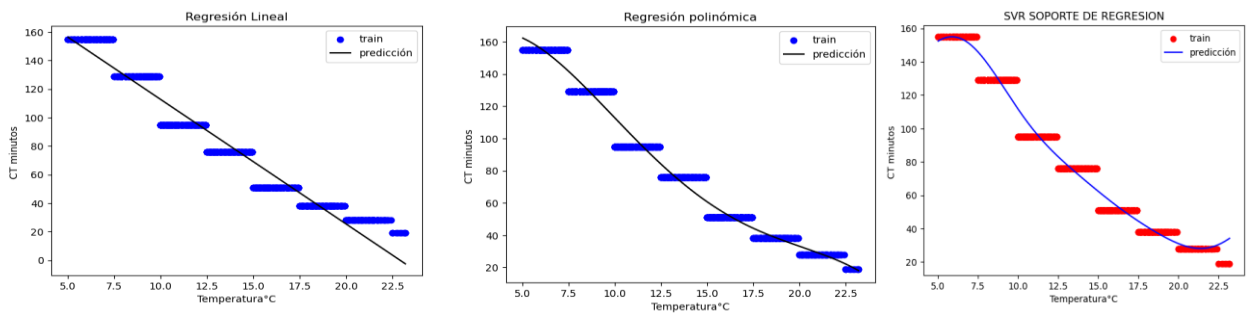


Figura 77 Comportamiento del CT en función de la temperatura.

Elaborado por los investigadores.



a) Gráfica de comportamiento algoritmo lineal.

b) Gráfica de comportamiento algoritmo polinómico.

c) Gráfica de comportamiento algoritmo SVR.

Figura 78 Evaluación de desempeño algoritmos lineal, polinómico y svr.

Elaborado por los investigadores.

3.2.5.5. Desempeño de los algoritmos de regresión (lineal, svr y polinómico)

Culminado el análisis de algoritmos se extrajo 3 valores diferentes de temperatura recogidos de la semana 21-27 de noviembre del 2022, clasificándoles de menor a mayor temperatura se analizó el desempeño mediante las medidas de ajuste (RMSE, MAE Y R2 ajustado), obteniendo así los valores de precisión de cada uno de los algoritmos seleccionados, la tabla 36 muestra los cálculos correspondientes a dicho análisis.

Tabla 36 Tabla comparativa de métodos de precisión.

	Temperatura	CT por tabla (min)	CT por algoritmo	Algoritmo	RMSE	Error absoluto medio (MAE)
Min	5	155	156,29	Lineal	1,9	1,290
	5	155	151,14	SVR	3,86	3,865
	5	155	157,49	Polinómico	2,49	2,490
	12,5	76	90,89	Lineal	14,89	14,890
	12,5	76	81,73	SVR	5,73	5,727
	12,5	76	83,13	Polinómico	7,13	7,132
	23,2	19	-2,41	Lineal	21,41	21,415
	23,2	19	39,35	SVR	20,35	20,350
Max	23,2	19	25,18	Polinómico	6,18	6,182

Elaborado por los investigadores.

Para una precisión mayor de las medidas de ajuste se debe usar todos los datos recopilados en la semana 21-27 del mes de noviembre, visible en la tabla 37.

Tabla 37 Tabla de precisión de RMSE Y MAE.

RMSE Lineal	RMSE SVR	RMSE Polinómico	MAE Lineal	MAE SVR	MAE Polinómico
0,00965	0,00675	0,00683	8,211	8,988	5,486

Elaborado por los investigadores.

En la tabla 38 se realiza una comparativa de precisión en R2, para cada modelo considerado

Tabla 38 Comparativa de precisión en R2.

R2 ajustado Lineal	0,97207
R2 ajustado SVR	0,96470
R2 ajustado polinómico	0,94233

Elaborado por los investigadores.

Los valores resultantes de RMSE, MAE y R2 ajustado, arrojan a la regresión polinómica como el mejor ajuste para nuestros valores de CT. Por lo tanto, se trabajará con la regresión polinómica buscando obtener el grado que mejor se ajuste a los datos para la estimación más cercana del valor de CT.

3.2.5.6. Selección del grado de regresión polinomial

Los datos se comportan mejor o peor según se va variando el grado de ajuste por lo cual para obtener el mejor grado que se ajuste bien a los datos en los límites máximos y mínimos, presentado en la tabla 39 una selección de varias temperaturas para contrastar con la mejor opción.

Tabla 39 Tabla comparativa Grados polinomio.

Temperatura [°C]	CT Calculado [min]	CT Calculado por Regresión Polinomial [min.mg/litro]				
		Grado 2	Grado3	Grado4	Grado 5	Grado 6
5	155	174,70	170,17	164,20	157,49	151,51
6,2	154,45	160,51	158,24	156,59	155,59	156,66
7,5	142,99	140,47	140,44	141,66	143,00	144,22
9,5	118,47	116,07	117,28	118,42	118,44	117,32
12,6	82,34	84,46	85,09	83,99	83,13	83,87
15,4	59,23	58,82	57,90	56,93	57,83	58,31
18,8	39,86	39,16	37,89	39,30	39,40	38,06
20,2	33,86	29,37	29,62	30,99	29,50	30,92
23,2	31,52	20,37	26,20	18,67	25,18	16,46

Elaborado por los investigadores.

Se evidencia que el grado 5 es el que mejor se ajusta para la lógica de control de dosificación sin embargo se corrobora determinando el nivel de error en la tabla 40, entre el dato generado por el modelo de regresión y el calculado para la aplicación optima del valor de CT.

Tabla 40 Nivel de error grados

Grado	Error Absoluto	Error Relativo	Fiabilidad [%]
2	0,082	0,193	99,807
3	0,061	0,134	99,866
4	0,072	0,191	99,809
5	0,044	0,124	99,876
6	0,078	0,219	99,781

Elaborado por los investigadores.

Almacenamiento de datos en la base de cloro

Todos los datos procesados mediante el algoritmo se deben alojar en una base de datos independiente a la base principal, por lo tanto, se genera una tabla llamada “cloro”, el cual consta de 8 campos, tal como se visualiza en la figura 79.

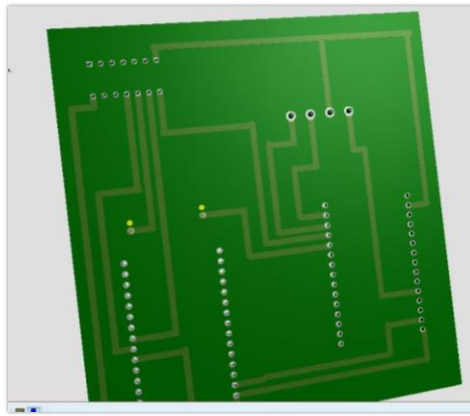
#	Nombre	Tipo	Cotejamiento	Atributos	Nulo	Predeterminado	Comentarios	Extra	Acción
1	id	int			No	Ninguna		AUTO_INCREMENT	Cambiar Eliminar Más
2	MODO_DOSIFICADOR	text	utf8mb4_spanish2_ci		No	Ninguna			Cambiar Eliminar Más
3	ESTADO_DOSIFICADOR	text	utf8mb4_spanish2_ci		No	Ninguna			Cambiar Eliminar Más
4	TEMPERATURA	text	utf8mb4_spanish2_ci		No	Ninguna			Cambiar Eliminar Más
5	CANTIDAD_AGUA	text	utf8mb4_spanish2_ci		No	Ninguna			Cambiar Eliminar Más
6	TIEMPO_DOSIFICACION	text	utf8mb4_spanish2_ci		No	Ninguna			Cambiar Eliminar Más
7	PWD_VALUE	text	utf8mb4_spanish2_ci		No	Ninguna			Cambiar Eliminar Más
8	TIME	timestamp			No	CURRENT_TIMESTAMP		DEFAULT_GENERATED	Cambiar Eliminar Más

Figura 79 Tabla cloro MySQL.

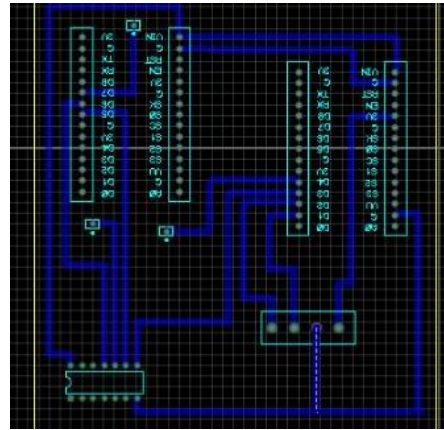
Elaborado por los investigadores.

Se describen cada uno de los campos de la tabla “cloro”.

- “Id”
Este campo tiene como atributo ser auto incrementable, ayudando así dar un único identificador a cada registro insertado tras el procesado del script de dosificación.
- “MODO_DOSIFICADOR”
Es importante considerar el registro de este campo ya que definirá el control de dosificación cuando el sistema lo requiera, los valores que tomará serán “dosificar” o “sin dosificar”.
- “ESTADO_DOSIFICADOR”
Este campo muestra el estado del procesado conjunto a la conexión con el servicio de MQTT, el cual es el encargado de gestionar el control de los actuadores del sistema.
- “TEMPERATURA”
Indicar el valor de la temperatura enviada por el microcontrolador.
- “CANTIDAD_AGUA”
Indicar el valor del agua que se someterá a la dosificación.
- “TIEMPO_DOSIFICACION”
Indica el valor procesado por el algoritmo de dosificación, el mismo que se procesa en base al valor de la temperatura.
- “PWM_VALUE”



a) Diseño 3D PCB circuito N°1.



b) Diseño PCB circuito N°1

Figura 81 Circuito N°1.

Elaborado por los investigadores.

En la figura 82 se muestra el diseño de la PCB del circuito 2.

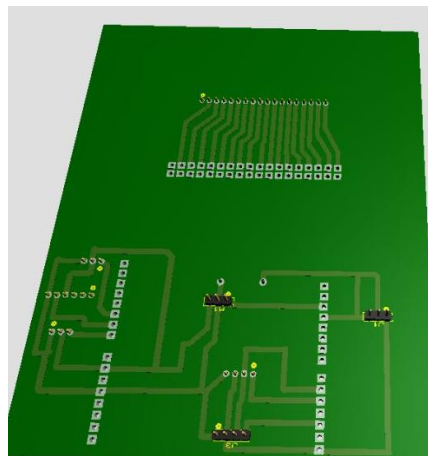


Figura 82 Diseño PCB circuito N°2.

Elaborado por los investigadores.

El diagrama esquemático en formato de impresión es mostrado en la figura 83.

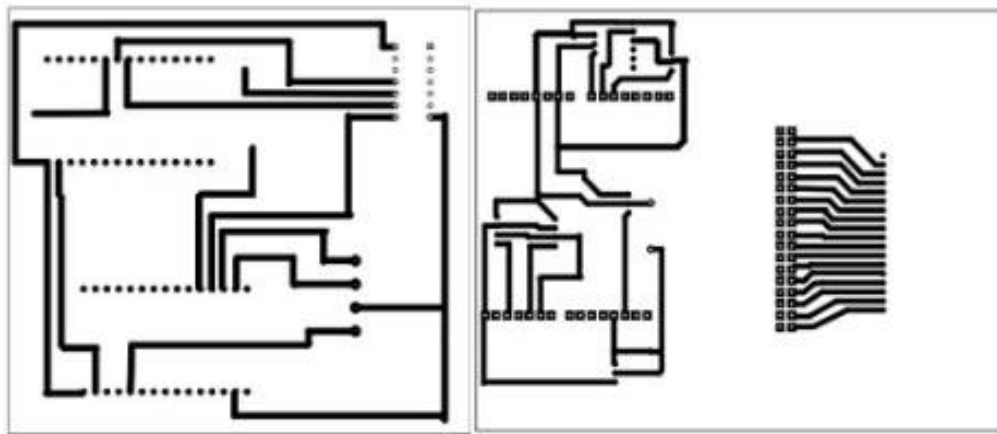
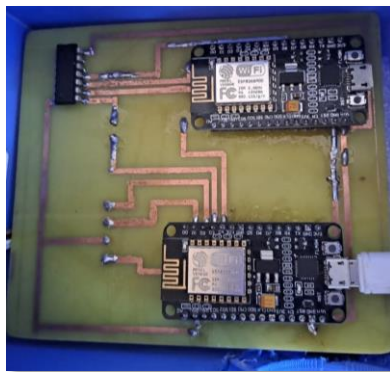


Figura 83 Esquemáticos finales formato impresión.

Elaborado por los investigadores.

El montaje de los circuitos dentro de la caja de control se muestra en la figura 84.



a) Implementación circuito N°1



b) Implementación circuito N°2

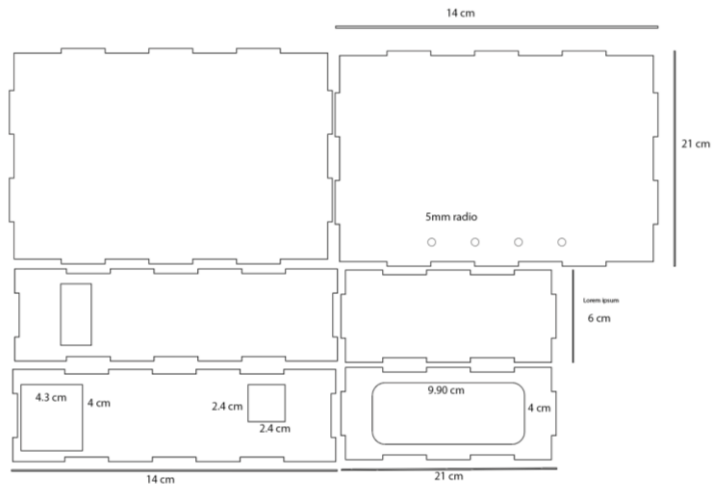
Figura 84 Implementación circuitos

Elaborado por los investigadores.

3.2.7. Diseño de la caja de control

Para poder organizar los elementos permitiendo su protección se desarrolló una caja ubicada en el depósito de solución madre en el cual se consideró orificios para el panel LCD, fijación de la bomba peristáltica y alimentación del sistema.

Obteniendo una caja con dimensiones 6 cm de alto 21 cm de ancho y 14 cm de largo, elaborada en MDF cortada a laser. de En la figura 85 se muestra el resultado.



a) Diseño de estructura "caja de control".



a) Vista delantera caja de control.



b) Vista inferior caja de control

Figura 85 Caja de control

Elaborado por los investigadores.

En la figura 86 se observa la implementación del prototipo.



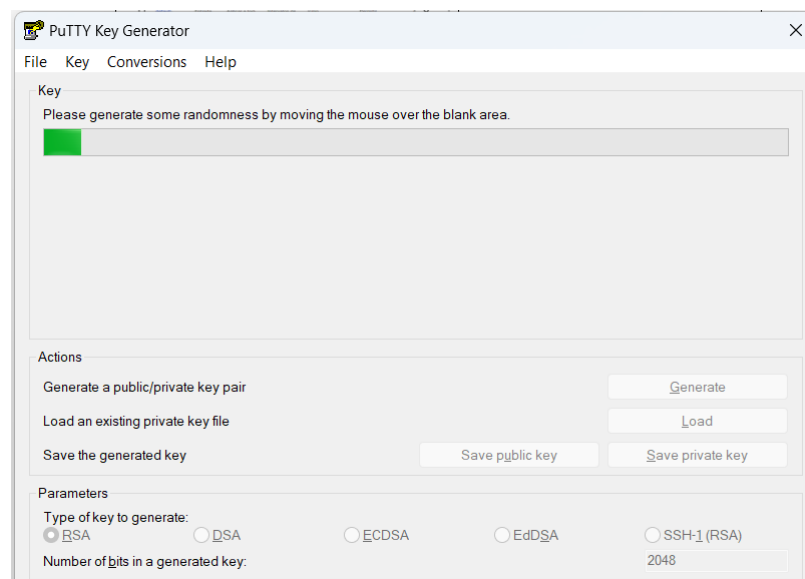
Figura 86 Implementación del prototipo

Elaborado por los investigadores.

3.2.8. Instalación de herramientas y librerías necesarias del prototipo.

SSH

Para poder gestionar de mejor manera nuestro servidor configuramos una clave pública y la subimos a nuestro servidor alojado en la nube para poder validarnos y conectarnos de manera remota. En la figura 87 se puede visualizar la creación y configuración de la clave pública.



a) Generación de clave pública

METADATOS		CLAVES SSH
Nombre de usuario ↑	Clave	
saul	ssh-rsa AAAAB3NzaC1yc2EAAAADAQABAAQGCd2u2/r09s4cJBRXPWpzaWNynm0xpyAY/7IH+fywY/TLgswWKlyAlejtrgBZUsi	

b) Configuración de clave pública en el servidor virtual.

Figura 87 Creación y configuración de la clave pública

Elaborado por los investigadores.

APACHE

Siendo un servicio para levantar un servidor web gratuito y de código abierto, es responsable de aceptar solicitudes HTTP de los visitantes y enviarles la información solicitada en forma de páginas web, para su instalación se utilizó el siguiente comando:

```
sudo apt update
sudo apt install apache2
sudo ufw allow 'Apache'
```

PHP

PHP es un lenguaje de secuencias de comandos del lado del servidor, para desarrollar sitios web tanto estáticos como dinámicos. Para la instalación del servicio y las librerías correspondientes se ejecutó los siguientes comandos:

```
sudo apt install php8.0 libapache2-mod-php8.0
sudo systemctl restart apache2
```

Una vez ejecutado cada comando dentro de la terminal de Ubuntu y con ninguna respuesta errónea se procede a digitar nuestra dirección de red pública en la barra de navegación de nuestro navegador Web y se tiene como respuesta la página de

validación de apache2 programada en php y html, dicha página se puede observar en la figura 88.

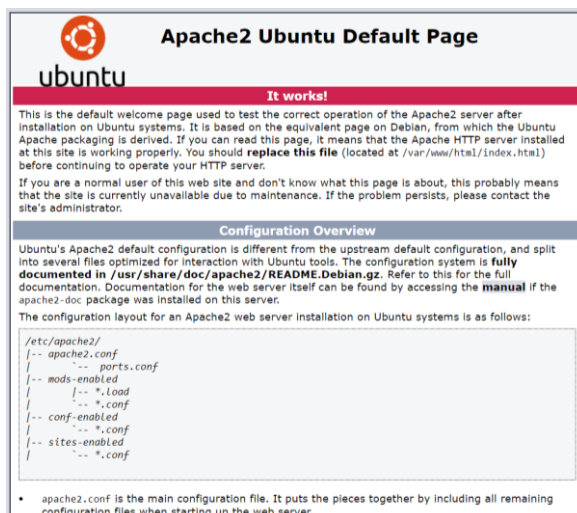


Figura 88 Servicio activo PHP y apache2.

Elaborado por los investigadores.

Python

Python es el lenguaje motor de nuestro sistema basado en inteligencia artificial, por lo cual es necesario instalar la última versión de Python con las librerías necesarios para el procesado de información y comunicación con los microcontroladores.

```
sudo apt-get install python3
sudo apt install python3-pymysql
sudo apt-get install -y python3-paho-mqtt
sudo apt install python3-mysql.connector
sudo apt install python3-opencv
sudo apt install python3-numpy
sudo apt install python3-matplotlib
sudo apt install python3-pandas
sudo apt install python3-json
sudo apt install python3-telegram-bot
```

Los sistemas operativos basados en software libre vienen con la versión de python2 por lo que para ejecutar cualquier script se debe intalar la version 3, como se muestra en la figura 89.

```
saul@instance-1:/var/www/html$ python3
Python 3.8.10 (default, Nov 14 2022, 12:59:47)
[GCC 9.4.0] on linux
Type "help", "copyright", "credits" or "license" for more information.>
>>>
>>>
```

Figura 89 Python inicio de servicio.

Elaborado por los investigadores.

Grafana

Grafana Service ayuda a analizar y ver de manera eficiente métricas, registros y seguimientos de manera estática o dinámica, de cualquier base de datos alojado dentro del servidor, las mismas que con simples configuraciones podrán darnos acceso para poder embeber dichas métricas dentro del aplicativo web con los lenguajes de programación pertinentes para cada caso.

Los comandos utilizados para poder instalar y levantar el servicio de grafana se muestran a continuación:

```
wget -q -O - https://packages.grafana.com/gpg.key | sudo apt-key add
sudo add-apt-repository "deb https://packages.grafana.com/oss/deb
stable main"
sudo apt install grafana
sudo systemctl enable grafana-server
sudo systemctl start grafana-server
```

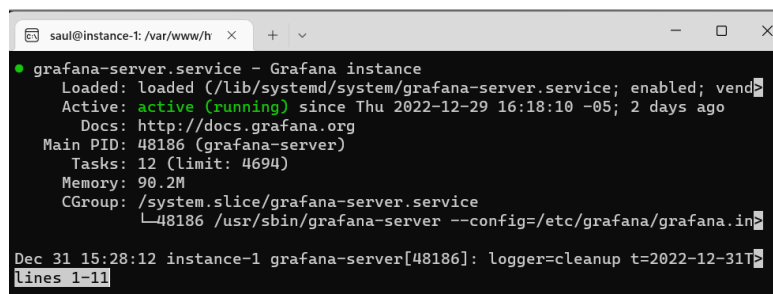
Para poder embeber las métricas dentro de nuestro aplicativo web se debe configurar el archivo grafana.ini que se encuentra en el directo /etc/grafana, y cambiar los parámetros en las siguientes líneas:

Allow_embedding = True

Authanonymous

Enable= true

Una vez configurado todos los parámetros con el comando `sudo systemctl restart grafana-service`, se levanta el servicio y procedemos a utilizar nuestro navegador y digitar la dirección ip pública seguido del puerto 3000 que es con el que trabaja el servicio de grafana por defecto, en la figura 90 se puede observar el proceso activo.



```
saul@instance-1: /var/www/h x + v - □ ×
● grafana-server.service - Grafana instance
   Loaded: loaded (/lib/systemd/system/grafana-server.service; enabled; vend
   Active: active (running) since Thu 2022-12-29 16:18:10 -05; 2 days ago
     Docs: http://docs.grafana.org
    Main PID: 48186 (grafana-server)
      Tasks: 12 (Limit: 4694)
    Memory: 90.2M
    CGroup: /system.slice/grafana-server.service
            └─48186 /usr/sbin/grafana-server --config=/etc/grafana/grafana.in
Dec 31 15:28:12 instance-1 grafana-server[48186]: logger=cleanup t=2022-12-31T
lines 1-11
```

Figura 90 Servicio "Grafana-service" activo.

Elaborado por los investigadores.

En la figura 90 se muestra servicio de forma gráfica.

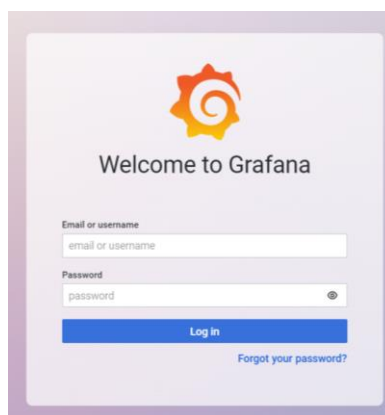


Figura 91 Dashboard principal Grafana service.

Elaborado por los investigadores.

Mosquitto Broker

El protocolo MQTT proporciona un método ligero para enviar mensajes utilizando un modelo de publicación/suscripción. Esto lo hace adecuado para la mensajería de Internet de las cosas, la instalación y configuración del puerto se lo realiza mediante el siguiente comando:

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

El Puerto por defecto de bróker de mosquitto se sitúa en el N° 1883 el mismo que se configuró anteriormente en las reglas de firewall del servidor en la nube. En la figura 92 se observa el bróker activo.

```
saul@instance-1: /var/www/h x + v
● mosquitto.service - Mosquitto MQTT v3.1/v3.1.1 Broker
   Loaded: loaded (/lib/systemd/system/mosquitto.service; enabled; vendor pr
   Active: active (running) since Wed 2022-12-28 11:53:25 -05; 3 days ago
     Docs: man:mosquitto.conf(5)
           man:mosquitto(8)
   Main PID: 529 (mosquitto)
     Tasks: 3 (limit: 4694)
    Memory: 1.7M
   CGroup: /system.slice/mosquitto.service
           └─529 /usr/sbin/mosquitto -c /etc/mosquitto/mosquitto.conf

Lines 1-11
```

Figura 92 Servicio "Mosquitto-service" activo.

Elaborado por los investigadores.

MYSQL

Para almacenar los datos que capturarán los sensores, se utiliza MySQL que es un servicio de alojamiento de bases de datos con soporte para los tres principales sistemas operativos más utilizados por las compañías de computadoras, por lo cual su instalación se lo realiza de igual manera mediante la consola de Ubuntu con los siguientes comandos:

```
sudo apt install mysql-server
sudo mysql
SELECT user,authentication_string,plugin,host FROM mysql.user;
ALTER USER 'root'@'localhost' IDENTIFIED WITH caching_sha2_password
BY 'password';
ALTER USER 'root'@'localhost' IDENTIFIED WITH mysql_native_password
BY 'password';
FLUSH PRIVILEGES;
```

De igual manera que en otros servicios por defecto vienen bloqueados los permisos para conexión remota al servicio por lo cual es necesario configurar ciertos parámetros del archivo “/etc/mysql/mysql.conf.d/mysqld.cnf”, los parámetros de configuración se describen en la figura 93.

```
[mysqld]
#
# * Basic Settings
#
user                = mysql
# pid-file           = /var/run/mysqld/mysqld.pid
# socket             = /var/run/mysqld/mysqld.sock
# port               = 3306
# datadir            = /var/lib/mysql

# If MySQL is running as a replication slave, this should be
# changed. Ref https://dev.mysql.com/doc/refman/8.0/en/server-system-variables.html#sysvar_tmpdir
# tmpdir             = /tmp
#
# Instead of skip-networking the default is now to listen only on
# localhost which is more compatible and is not less secure.
bind-address        = 0.0.0.0
mysqlx-bind-address = 0.0.0.0
#
```

Figura 93 Configuración conexión remota MySQL.

Elaborado por los investigadores

Por defecto bin-address y mysqlx-bind address, vienen con la dirección loopback que simboliza que solo se permitirá conexiones locales, por lo cual es necesario cambiarla por 0.0.0.0 que permitirá conexión remotamente desde cualquier ip pública.

Arduino IDE

La programación de los microcontroladores utilizados se realiza en Visual Studio Code con la extensión de PlatformIO, para lograr adecuar el entorno a todos los elementos usados (sensores, actuadores y envío de datos), se debe contar con las herramientas necesarias, mismas que no incluye el IDE de forma nativa razón por la que se debe instalar de forma manual, siendo las librerías mostradas en la figura 94.

```
[env:esp12e]
platform = atmelavr
board = megaADK
framework = arduino
lib_deps =
  arduino-libraries/Ethernet@^2.0.1
  adafruit/Adafruit Unified Sensor@^1.1.6
  adafruit/DHT sensor library@^1.4.4
  ;C:\Users\saul\Downloads\Arduino_JSON-0.1.0.zip
  C:\Users\saul\Downloads\ArduinoJson-5.0.0.zip
  knolleary/PubSubClient@^2.8
  paulstoffregen/OneWire@^2.3.7
  milesburton/DallasTemperature@^3.11.0
  amcewen/HttpClient@^2.2.0
  arduino-libraries/ArduinoHttpClient@^0.4.0
  marcoschwartz/LiquidCrystal_I2C@^1.1.4
  marvinroger/AsyncMqttClient@^0.9.0
```

Figura 94 Librerías microcontroladores, instaladas.

Elaborado por los investigadores.

Para la instalación de todas las librerías el proceso es el ilustrado en la figura 95, ubicándose en la pestaña herramientas “opción librerías”.

Al seleccionar esto, se despliega la opción de gestor de librerías donde se puede buscar las librerías por nombre, las mismas que se pueden agregar de forma independientemente a los diferentes proyectos que se tenga.

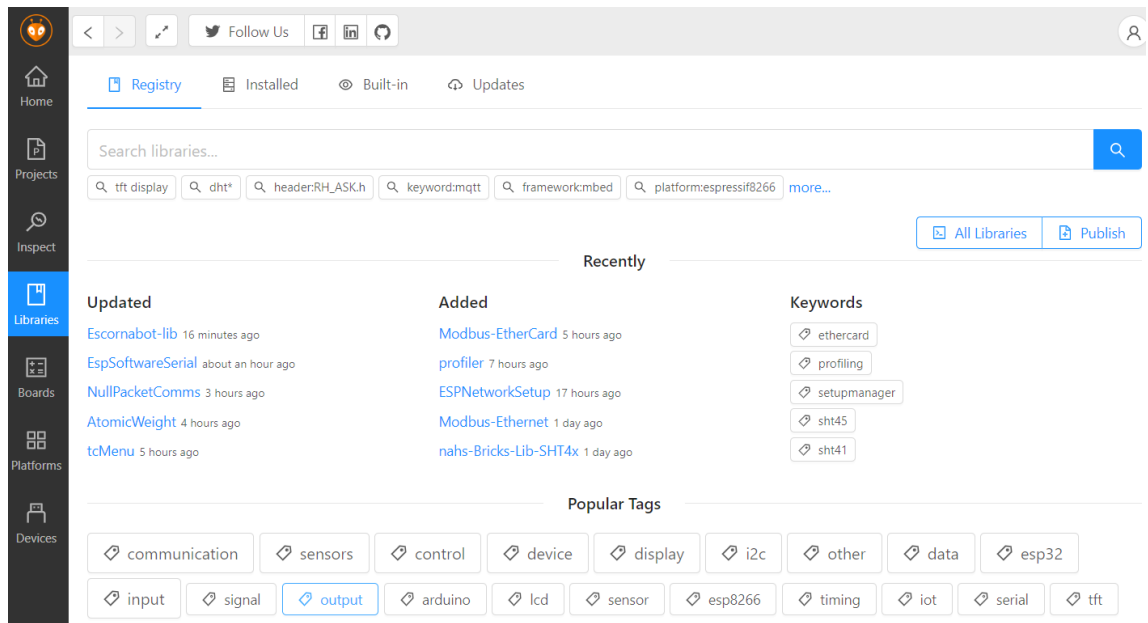


Figura 95 Sección de librerías PlatformIO.

Elaborado por los investigadores.

Cada microcontrolador utiliza ciertas librerías que hacen posible la ejecución de funciones para procesar la información, enviar y recibir la información sincrónicamente, por lo cual se instala con la herramienta de platformIO y en caso de requerir una librería no existente dentro de la herramienta se lo puede llamar desde la ubicación del archivo en formato “.zip”. La programación de los microcontroladores con sus respectivas librerías se pueden visualizar en el Anexo 10 sección a.

3.2.9. Propuesta de implementación a nivel industrial.

Conociendo el estado actual de la planta de tratamiento “El carrizal” y elaborado en el prototipo basado en IoT e inteligencia artificial, se propone la siguiente instrumentación para su correspondiente automatización:

Unidad de procesamiento

- **PLC CPL410 (Linux)**

El PLC CPL410 (Linux) es un sistema de control programable basado en Linux para aplicaciones industriales, ofrece soporte para una variedad de protocolos de comunicación, como MODBUS y Ethernet IP. Debido a que integra la tecnología PACEdge es ideal para aplicaciones con Inteligencia Artificial (AI) entre otros usos.

Sus características principales se los puede observar en la tabla 41.

Tabla 41 Especificaciones PLC CPL410 1.

Especificación	Descripción
Rango de temperatura	-40°C a 70°C
Fuente de alimentación	Potencia de entrada (máx.): 20 vatios Voltaje de entrada (mín.): 18 VCC Voltaje de Entrada (Máx.) : 30 Vdc
Seguridad	Arranque seguro Módulo de plataforma segura (TPM)
Almacenamiento	Sistema PAC: RAM – 64 Mbytes PACSystems: Flash no volátil – 64 Mbytes PACSystems: Condensadores de paquete de energía, Esperanza de vida – 5 años PACEdge: RAM – 2 GB PACEdge: Almacenamiento: SSD de 50 GB
Ethernet Protocolos	SRTP Modbus TCP Datos globales de Ethernet (EGD) Transferencia HART PROFINET Servidor OPC-UA con acceso seguro Estación externa Ethernet DNP3.0 – L3
Compatibilidad con el protocolo de comunicaciones PACEdge	Modbus/TCP MQTT HTTPS FTPS Cliente y servidor OPC-UA GEEthernet SRTP-2 Ethernet/IP Ethernet/IP de Omron Omron ALETAS Ethernet Siemens S7TCP Siemens S7-MPI Siemens S7-PPI Portal TIA de Siemens Tarjetas de interfaz Hilscher CIFXZ Serie Mitsubishi FZ Mitsubishi FX3u TCP SAIA-Burgess S-BUS Ethernet TwinCAT de Beckhoff CNC Fanuc [104].

Elaborado por los investigadores.

Una vez analizado sus características y basándose en la arquitectura implementada en el prototipo, se consideró que el PLC CPL410 ilustrado en la figura 96, es ideal para la implementación a nivel industrial debido al soporte de los protocolos “mqtt” y “https”.



Figura 96 PLC CPL410 basado en Linux [104].

Siemens ET 200S

Siemens ET 200S es un sistema de automatización de campo de la marca Siemens, se utiliza para la conexión de sensores y actuadores en un sistema de automatización industrial. Además, ofrece una amplia variedad de módulos de entrada y salida, incluyendo entradas analógicas, entradas de temperatura, salidas de relé, salidas de transistores y salidas de corriente [105].

También ofrece una amplia gama de comunicaciones, como PROFINET, PROFIBUS, USB, y Ethernet ideal para la comunicación con PLC. En la figura 97 se puede observar el instrumento descrito:



Figura 97 Siemens ET 200S [105].

Sensor de pH ABB TB82PH

Este sensor cuenta con un diseño resistente y una sonda de medición en cerámica, lo que lo hace ideal para medir el pH en entornos industriales. Además, cuenta con una interfaz HART integrada para una conexión fácil con otros dispositivos en el sistema de automatización, y cuenta con un protocolo PROFIBUS DP. En la figura 98 se puede apreciar el sensor de pH [106].



Figura 98 Sensor de pH de ABB [106].

Sensor De Turbidez ABB Serie 4690

La figura 99 expone la estructura del sensor que cuenta con una carcasa de acero inoxidable resistente y una sonda de medición con tecnología de haz de luz. Además, cuenta con una interfaz PROFIBUS DP integrada para una conexión fácil con otros dispositivos en el sistema de automatización. La serie 4690 ofrece una precisión de medición de hasta $\pm 2\%$ y un rango de medición de 0-4000 NTU [107].



Figura 99 Sensor de turbidez Serie 4690 de ABB [107].

Sensor De Caudal AQUAPROBE FEA100

La serie FEA100 de Caudal Aquaprobe es un sensor de caudal de flujo de aire diseñado para medir caudales de aire y gases en tuberías de diámetros desde 50 mm hasta 2000 mm. Este sensor cuenta con una carcasa de acero inoxidable resistente y una tecnología de medición basada en el principio de la medición de la velocidad de los electrones para ofrecer una precisión

de medición de hasta $\pm 2\%$ y un rango de medición de 0-100% de caudal. Además, cuenta con una interfaz PROFIBUS DP integrada [108]. Este sensor se puede apreciar en la figura 100.



Figura 100 Sensor de caudal” AQUAPROBE FEA100” [108].

Sensor De Temperatura “SENSYTEMP TSP”

El SENSYTEMP TSP ilustrado en la figura 101, utiliza el principio de medición de termopares para medir la temperatura. Cuenta con un diseño resistente, con una carcasa de acero inoxidable y una sonda de medición con tecnología de termopar. Además, cuenta con una interfaz PROFIBUS DP integrada para una conexión fácil con otros dispositivos en el sistema de automatización.

Ofrece una precisión de medición de hasta $\pm 0.1\%$ y un rango de medición de -200 a $+1300$ °C [109].



Figura 101 Sensor de temperatura “sensytemp tsp” [109].

Sensor De Conductividad ABB TB4042

El TB4042 es un sensor de conductividad desarrollado por la empresa Endress+Hauser. Este sensor cuenta con una carcasa de acero inoxidable resistente y una sonda de medición con tecnología de electrodo de conductancia. Utiliza el principio de medición de 4 electrodos para

medir la conductividad. El TB4042 mostrado en la figura 102, ofrece una precisión de medición de hasta $\pm 0.1\%$ y un rango de medición de 0-200 mS/cm [110].



Figura 102 Sensor de conductividad TB2CS [110].

Sensor De Nivel ABB LMC7100

El LMC7100 es un sensor de nivel magnetostrictivo desarrollado por la empresa Endress+Hauser. Este tipo de sensores utilizan el principio de la magnetostricción para medir el nivel de líquidos o sólidos. La magnetostricción es un fenómeno físico en el que un material cambia su forma cuando se somete a un campo magnético [111]. Este sensor se puede apreciar en la figura 103.



Figura 103 Sensor de nivel lmc7100 [111].

Electroválvula Mariposa Siemens Vf141.350

Las electroválvulas de dos vías de Siemens mostrada en la figura 104, son un tipo de válvula eléctrica que se utiliza para controlar el flujo de fluidos en un sistema de tuberías. Estas están compuestas por una "mariposa" o disco que gira sobre un eje central, lo que permite abrir o cerrar el paso del fluido. La válvula puede ser controlada mediante una señal eléctrica que actúa sobre un actuador eléctrico, el cual gira el disco y regula el flujo [112].



Figura 104 Electrovalvula mariposa siemens vfl41.350 [112].

Bomba peristáltica Flexflo M5

La bomba “flexflo” de bajo consumo es capaz de producir hasta 8,9 galones por minuto a una velocidad de solo 75 rpm, lo que maximiza la vida útil del tubo y reduce el mantenimiento general. El M5 reduce la pulsación hasta en un 80 % gracias a su exclusivo diseño de rodillo móvil y tubería de doble canal [113]. Este dispositivo se puede observar en la figura 105.



Figura 105 Bomba peristáltica “flexflo” [113].

Esquema de disposición de elementos planteados

Pretratamiento

Considerando la tubería de ingreso a la planta en 350 mm y el caudal de 61,8 litros/seg se emplea la electrovalvula Siemens mariposa VFL41.350 para condicionar el acceso de agua cruda, ubicada en la entrada de la caja de control anterior a las sondas de los sensores del fabricante ABB de turbidez, pH, conductividad, temperatura y caudal. La disposición de los elementos necesarios en la etapa de pretratamiento se observa en la figura 106.

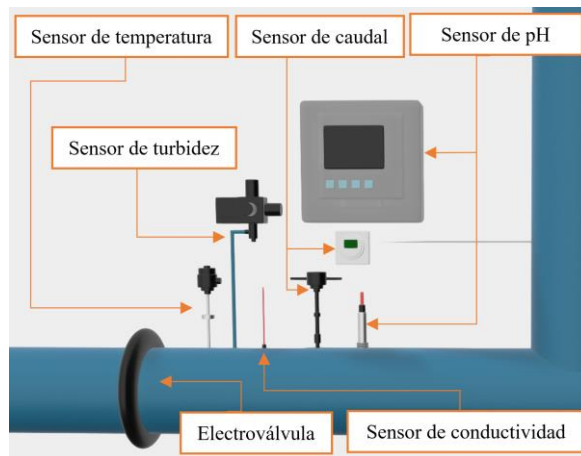


Figura 106 Propuesta Etapa de Pretratamiento Planta El Carrizal

Elaborado por los investigadores

Filtración

Para controlar el ingreso al depósito se emplea una electroválvula contemplada en la etapa de pretratamiento, además de una equivalente ubicada en la parte inferior del depósito usado para salida, el sensor de niveles ABB LMC7100 controlado en nivel de llenado. Este proceso se ilustra en la figura 107.

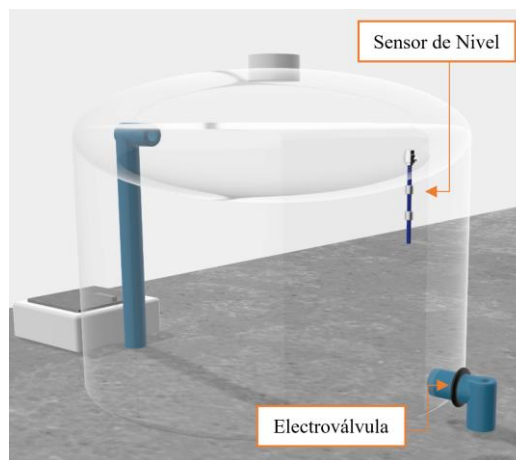


Figura 107 Propuesta Etapa de Filtración Planta El Carrizal

Elaborado por los investigadores

Cloración

Esta etapa se muestra en la figura 108 se contemplado dos depósitos el menor de 500 litros empleado para la preparación de la solución madre, mediante la bomba peristáltica Flexflo M5 que maneja por minuto enviando la solución hacia el depósito de mayor tamaño de 70 m³, para controlar el ingreso de agua cruda se emplea la electroválvula de la etapa anterior mientras que para su salida se usara una equivalente.

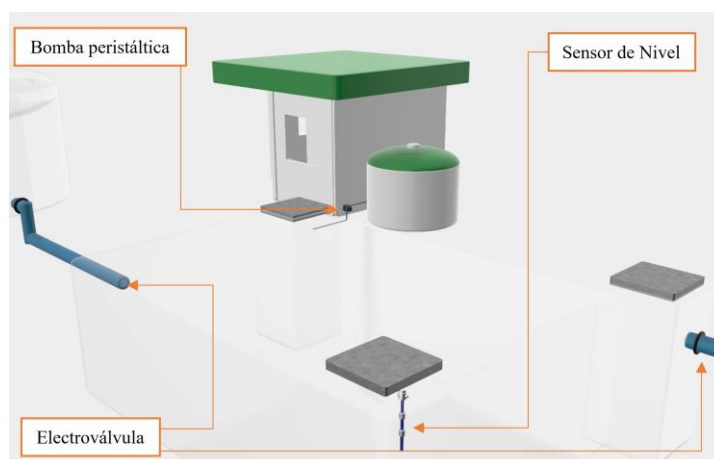


Figura 108 Propuesta Etapa de Cloración Planta El Carrizal

Elaborado por los investigadores

Reserva

Para controlar el ingreso del agua tratada se usará una electroválvula de la misma forma se usa en la salida destinada para limpieza o consumo, además se monitoreará el nivel del depósito empleando un sensor de nivel. La disposición de dispositivos se muestra en la figura 109.

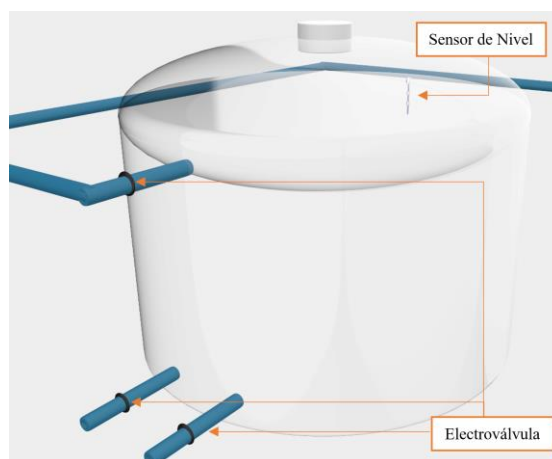


Figura 109 Propuesta Etapa de Reserva Planta El Carrizal

Elaborado por los investigadores

Propuesta de automatización

La propuesta de automatización se ilustra en la figura 110 y contempla los siguientes ítems:

- Automatización del suministro de hipoclorito de calcio: para preparar la solución madre en concentración de 6664 ppm.

- Lectura del pH, temperatura, turbidez, caudal, conductividad: La planta de potabilización “El Carrizal”, requiere del sensado de dichas variables mencionadas. Por lo tanto, se instala los medidores correspondientes los tanques a la entrada del tanque principal de tratamiento, es decir en el tanque que mantendrá el suministro de agua cruda captada del afluente del río Yanayacu.
- Control de electroválvulas y bomba peristáltica: Las mismas funcionarán en base al estado de los sensores de nivel colocados en cada tanque, y funcionarán en secuencia conjunto al proceso de dosificación. El proceso de dosificación lo realizará el script en Python que se mantendrá las 24 horas en ejecución a la espera de la orden de dosificación.
- Registro de las variables: Los datos del estado de las variables se envían al servidor alojado en la nube de “GOOGLE PLATFORM” en el cual se monitorean y se almacenan con el fin de analizar las tendencias del líquido vital y realizar ajustes para el tratamiento adecuado.

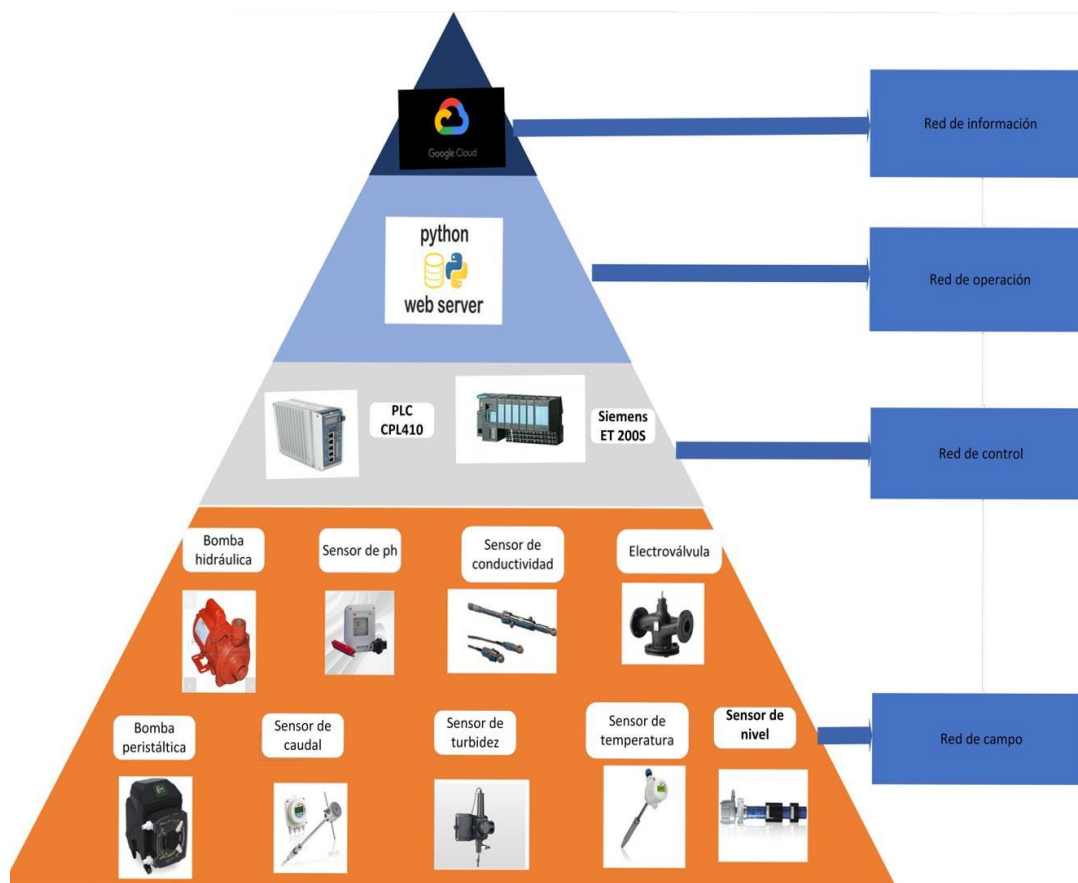


Figura 110 Pirámide de automatización de propuesta.

Elaborado por los investigadores.

Presupuesto de implementación a nivel industrial

En la tabla 42 se especifica los elementos necesarios para implementar el prototipo propuesto a nivel industrial sin considerar adaptaciones de la planta a nivel estructural, insumos químicos y mano de obra.

Tabla 42 Presupuesto costo de implementación a nivel industrial

Ítem	Descripción	Cantidad	P. Unitario	P. Total
1	PLC Cpl410 (Linux)	1	7516,50	7516,50
2	Siemens ET 200S	2	997,50	1995,00
3	Sensor De pH ABB	1	943,50	943,50
4	Sensor De Turbidez ABB Serie 4690	1	540,00	540,00
5	Sensor De Caudal Aquaprobe Fea100	1	228,00	228,00
6	Sensor De Temperatura Sensytemp Ts	1	336,00	336,00
7	Sensor De Conductividad Tb2cs	1	293,67	293,67
8	Sensor De Nivel ABB LMC7100	4	169,50	678,00
9	Electroválvula Siemens Vf141.350	12	3918,00	47016,00
10	Bomba Peristáltica Flexflo M5	1	793,44	793,44
Subtotal				60340,11
Imprevistos (15%)				9051,02
TOTAL				69391,13

Elaborado por los investigadores.

3.3. Pruebas de funcionamiento

Se verificó que los indicadores 3 y 4 colocados en la parte superior de nuestra unidad de control estén encendidos, simbolizando así la conexión a los protocolos HTTP y MQTT que son los responsables del envío de datos y control de los actuadores, en la figura 111 se visualiza el emparejamiento correcto del sistema al servidor mediante los protocolos mencionados.

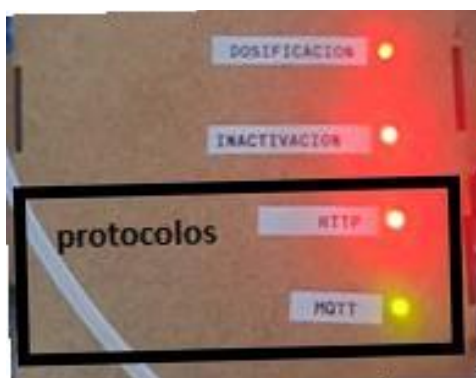


Figura 111 Indicadores de protocolos activos.

Elaborado por los investigadores.

Unidad de monitorización

Las lecturas de los sensores que se muestran en el módulo LCD son de tipo entero debido a la limitación de espacio en la pantalla. Sin embargo, los valores que se envían a la base de datos y al aplicativo web son de tipo decimal (dos decimales); necesarios para el control de los procesos a precisión. En la figura 112, se pueden observar los valores ofrecidos al operario en el panel LCD de acceso rápido, en la opción de sensores.



Figura 112 valores capturados pH, conductancia, temperatura, turbidez y caudal.

Elaborado por los investigadores.

En las tablas 43 y 44 se observa los resultados de los datos recolectados tomando como muestra tres horas específicas durante 5 días, con los mismos que se realizó un promedio de cada variable recolectada para comparar con los valores descritos en la norma, y verificar si cumplen con los rangos admitidos.

Tabla 43 Datos recolectados por día, pruebas de funcionamiento 1.

Día	Hora	Temperatura [°C]	Turbidez [NTU]	Caudal [Litros/min]	pH	Conductancia [mH/cm]
Día 1	8:00	18.38	0.968	8.06	6.858	341.991
Día 2	8:00	18.13	0.373	9.24	6.855	340.466
Día 3	8:00	12.029	0.989	8.284	6.701	325.55
Día 4	8:00	10.719	0.932	8.303	6.759	311.639

Elaborado por los investigadores.

Tabla 44 Datos recolectados por día, pruebas de funcionamiento 2.

Día 5	8:00	10.211	0.699	8.51	6.818	342.578
Día 1	11:00	18.13	0.394	8.05	6.792	354.908
Día 2	11:00	17.75	0.489	9.63	6.822	326.66
Día 3	11:00	14.408	0.423	8.343	6.746	328.256
Día 4	11:00	15.144	0.687	8.13	6.864	320.583
Día 5	11:00	14.464	0.714	8.278	6.797	351.11
Día 1	14:00	17.94	0.549	8.38	6.777	354.876
Día 2	14:00	16.009	0.888	8.559	6.74	334.307
Día 3	14:00	12.625	0.381	8.618	6.801	338.254
Día 4	14:00	13.821	0.557	8.687	6.88	320.675
Día 5	14:00	12.751	0.759	8.967	6.736	357.172

Elaborado por los investigadores.

Los datos enviados a nuestra base de datos son leídos constantemente cada 5 segundos y plasmados dentro de nuestro aplicativo web clasificado en cada apartado, en figura 113 muestra la sección principal se muestra un extracto de los valores capturados por lo sensores.

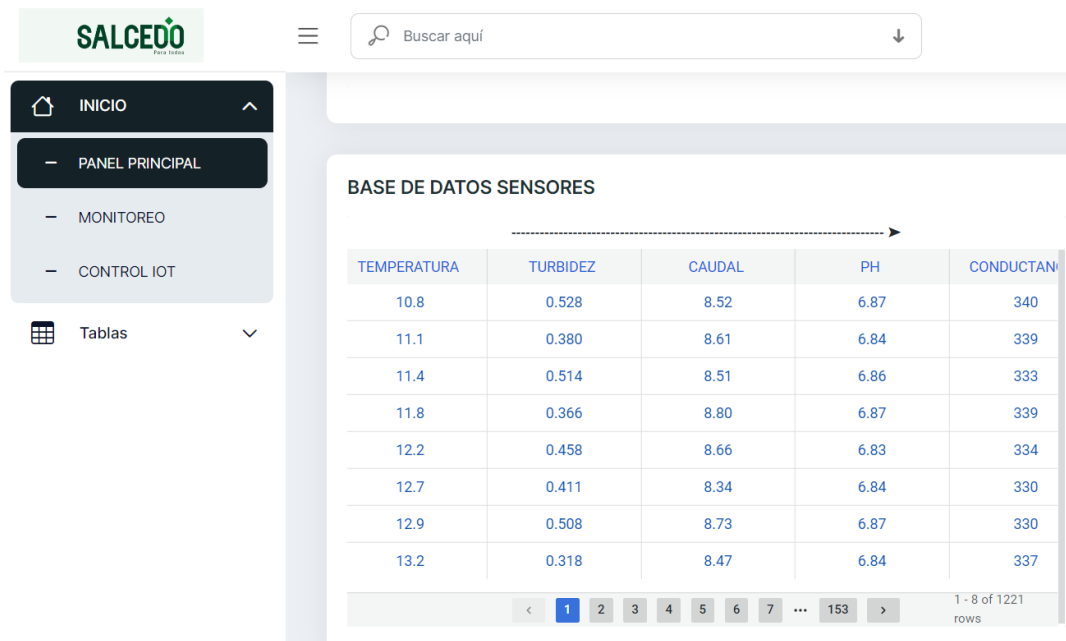


Figura 113 Tabla datos recolectados por los sensores

Elaborado por los investigadores.

Los mismos datos son procesados y representados por más herramientas visuales (hightchart-medidor de desplazamiento), estos son separados y representados acorde a su magnitud escalar, en la figura 114 se puede mostrar los gráficos descritos.

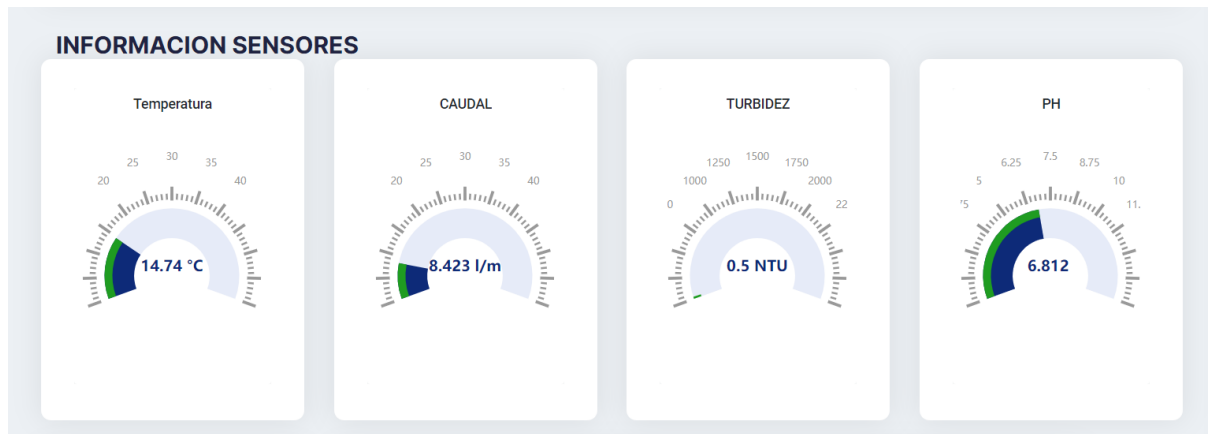


Figura 114 Highcharts sensores.

Elaborado por los investigadores.

Unidad de control

Control automático

El control funciona en base al protocolo MQTT que envía directamente los datos de los sensores de nivel a dos scripts de Python que permanecen ejecutándose constantemente en el servidor en la nube, los mismos que cumplen la función de control (cierre y apertura de válvulas), y uno independiente para la dosificación del cloro.

En caso de no solicitar la dosificación el script se ejecuta recibiendo las lecturas de temperatura para procesarlo con nuestro algoritmo de inteligencia artificial, obteniendo así el valor de CT para almacenarlo en nuestra base de datos.

Cuando el script recibe la orden de dosificación automáticamente, el valor de CT calculado entra a la sentencia de procesado donde cuenta con una segunda sentencia lógica para clasificar el valor de temperatura y así obtener un valor de concentración de cloro adecuado para cada valor de temperatura. Dicha lógica de control se lo puede apreciar en la figura 115.

```
str3 = 'dosificar'
activacion3=temp
global t22
t22 = ans*60
print(activacion2)
if(mode == str3):
    exec(open("./ml_python_/code/alert4.py").read())
    if (0.5 <= activacion3 <= 10):
        t=5
        t22
        print("entre 5 y 10 grados")
        countdown(int(t))

    if ( 10 <= activacion3 <= 20):
        t=10
        t22
        print("entre 10 y 20 grados")
        countdown(int(t))

    if ( 20 <= activacion3 <= 30):
        t=20
        print("mayor a 20 grados")
        t22
        mycursor.execute(sql, val)
        mydb.commit()
        countdown(int(t))

else:
    print("-----SIN DOSIFICAR-----")
```

Figura 115 Sentencia programada para activación de dosificación.

Elaborado por los investigadores.

Cuando el sistema entra en estado de dosificación, este se encarga mediante la sentencia EXEC la ejecución de otro script que envía las alertas correspondientes y el seguimiento del proceso de dosificación. En la figura 116 se puede observar la notificación de alerta tras ejecutar el proceso de dosificación.

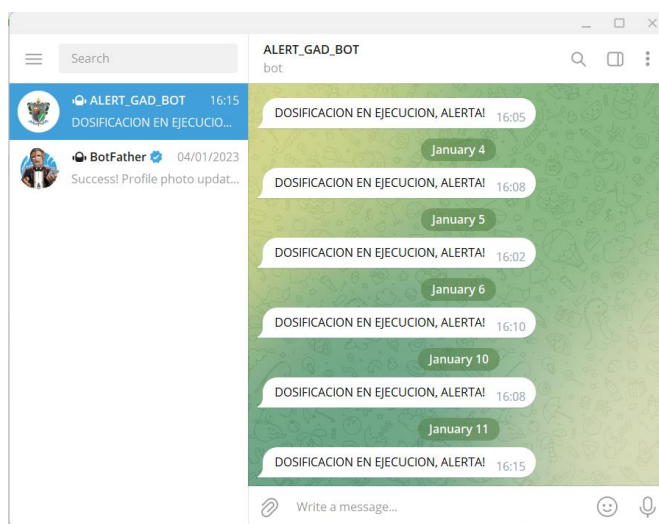


Figura 116 Alertas generadas tras la dosificación.

Elaborado por los investigadores.

Cuando nuestro sistema acaba de dosificar automáticamente guarda los datos de dosificación en la base de datos y posteriormente pasa al siguiente script el cual es el encargado de controlar las válvulas restantes, cada apertura va a funcionar en base a los datos enviados del estado de los sensores de nivel, activando así las válvulas por cierto tiempo hasta completar su vaciado. En la figura 117 se puede observar los datos almacenados en la base de datos acorde al requerimiento del proceso de dosificación.

id	MODO_DOSIFICADOR	ESTADO_DOSIFICADOR	TEMPERATURA	CANTIDAD_AGUA	TIEMPO_DOSIFICACION	PWD_VALUE	TIME
293	sindosificar	activo	16,54	6_litros	50,94	127	2023-01-04 16:00:00
294	dosificar	activo	16,32	6_litros	52,34	128	2023-01-04 16:07:00
id	MODO_DOSIFICADOR	ESTADO_DOSIFICADOR	TEMPERATURA	CANTIDAD_AGUA	TIEMPO_DOSIFICACION	PWD_VALUE	TIME
295	sindosificar	activo	12,029	6_litros	88,05	127	2023-01-05 08:00:00

Figura 117 Datos almacenados dosificación.

Elaborado por los investigadores.

Automatización de ejecución de scripts

Debido a la necesidad de tener ejecutado constantemente los scripts para el control de los actuadores, se debe automatizar la ejecución mediante los servicios de crontab los mismos que corren bajo el sistema operativo de Ubuntu, en la figura 118, se muestra el proceso de configuración de dicha tarea:

Mediante el comando crontab -e se abre una ventana donde podemos agregar las líneas para la ejecución de los scripts cada 12 horas.

```
GNU nano 4.8 /tmp/crontab.Hzb4B6/cron
# Edit this file to introduce tasks to be run by cron.
#
# Each task to run has to be defined through a single line
# indicating with different fields when the task will be run
# and what command to run for the task
#
# To define the time you can provide concrete values for
# minute (m), hour (h), day of month (dom), month (mon),
# and day of week (dow) or use '*' in these fields (for 'any').
#
# Notice that tasks will be started based on the cron's system
# daemon's notion of time and timezones.
#
# Output of the crontab jobs (including errors) is sent through
# email to the user the crontab file belongs to (unless redirected).
#
# For example, you can run a backup of all your user accounts
# at 5 a.m every week with:
# 0 5 * * 1 tar -zcf /var/backups/home.tgz /home/
#
# For more information see the manual pages of crontab(5) and cron(8)
#
# m h dom mon dow   command
0 */12 * * * /var/www/html/PYTHON/azure2.py
0 */12 * * * /var/www/html/PYTHON/valvulas.py
```

Figura 118 Automatización de ejecución de scripts.

Elaborado por los investigadores.

Control manual

Para el correcto funcionamiento del prototipo es necesario manipular de manera correcta el aplicativo web, por lo cual en el anexo 26 se detalla el uso que ofrece cada opción.

Para el control manual se debe ingresar al apartado de control el mismo que consta de un botón para ingresar al menú, al ingresar debido a que son elementos de control de gran importancia es necesario un segundo logeo con las credenciales de cada administrador.

Validadas las credenciales la interfaz nos permite el control independiente de cada actuador, así como el comando a enviar. Seleccionamos el actuador, comando y ejecutamos, el envío del comando por mqtt y prueba de procesado en la unidad de control se puede ver en la figura 119.

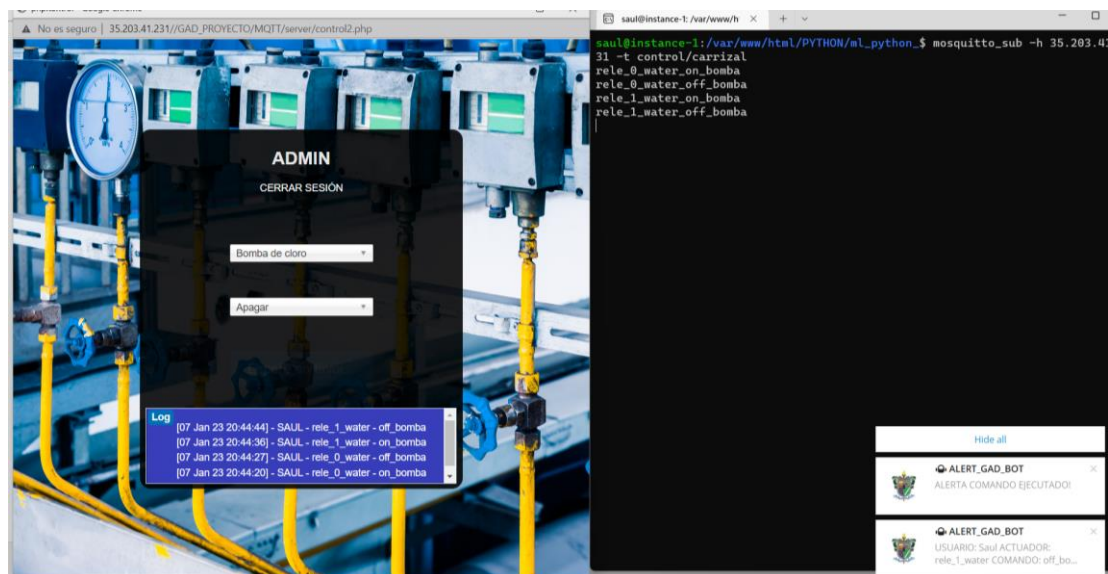
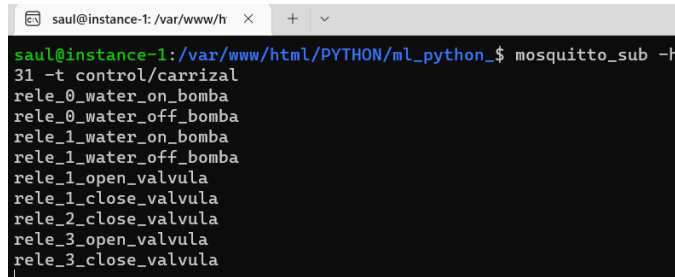


Figura 119 Envío de comandos MQTT control manual.

Elaborado por los investigadores.

Los comandos enviados al seleccionar y ejecutar tienen una estructura de “numero de rele/comando/actuador”, los mismos que son enviados por un mismo tópic “control/carrizal” apuntando a la dirección host donde se ejecuta el servicio de “mosquitto bróker”. En la figura 120 se muestra los comandos enviados al tópic de suscripción.



```
saul@instance-1: /var/www/h  
saul@instance-1: /var/www/html/PYTHON/ml_python$ mosquitto_sub -h  
31 -t control/carrizal  
rele_0_water_on_bomba  
rele_0_water_off_bomba  
rele_1_water_on_bomba  
rele_1_water_off_bomba  
rele_1_open_valvula  
rele_1_close_valvula  
rele_2_close_valvula  
rele_3_open_valvula  
rele_3_close_valvula
```

Figura 120 MQTT subscribe topic, comandos enviados.

Elaborado por los investigadores.

De igual manera en la figura 121 se muestra la alerta generada tras usar el control manual con los diferentes actuadores que forman parte el prototipo.

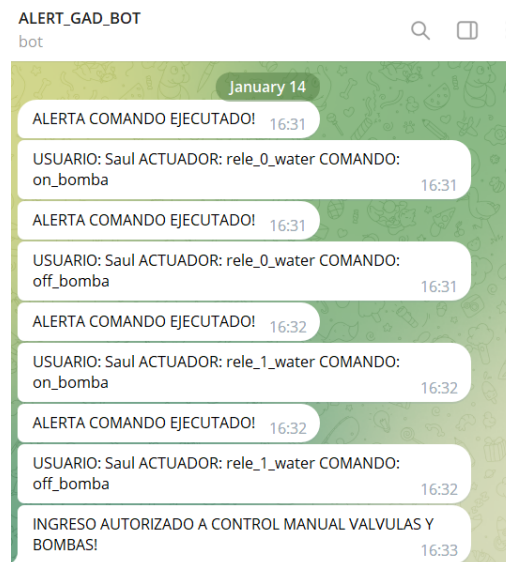


Figura 121 Alertas de envío de control manual.

Elaborado por los investigadores.

3.3.1. Nivel de confiabilidad del sistema de potabilización

Considerando que los cambios entre cada valor son abruptos, relacionando a una selección solución inviable ya que no se puede valorar el mismo tiempo de contacto al tener un margen de error de $\pm 5^{\circ}\text{C}$, como en el caso de $22,5^{\circ}\text{C}$ a $22,6^{\circ}\text{C}$ desde los 28 min. mg/litro hasta los 19 min.mg/litro, aumentando solamente $0,1^{\circ}\text{C}$.

En primera instancia usando como modelo los valores correspondientes al jueves 24 de noviembre de 2022, debido a que este día presenta la mayor fluctuación de temperatura de entre el conjunto de datos presente en el dataset, usado para el desarrollo del modelo de dosificación basado en IA. Se contrasta los valores CT de la tabla del anexo 9, con el calculado por modelo de regresión polinomial y el arrojado por el algoritmo de inteligencia artificial, dicha comparativa esta plasmada en la tabla 45.

Tabla 45 Tabla comparativa valor de CT

Hora	Temperatura [°C]	CT [min.mg/litro]	CT Calculado [min.mg/litro]	Dosis [ml]
0:00	11,4	95	95,17	95,04
1:00	10	95	112,10	112,05
2:00	9,1	129	123,60	123,58
3:00	8,1	129	136,10	136,10
4:00	7,2	155	146,15	146,15
5:00	6,2	155	154,46	154,46
6:00	7,2	155	146,15	146,15
7:00	8,7	129	128,69	128,67
8:00	10,9	95	101,01	100,92
9:00	13	76	78,48	78,21
10:00	15,7	51	57,23	56,45
11:00	17,9	38	44,38	42,77
12:00	20,2	28	33,86	30,80
13:00	22,1	28	29,68	24,76
14:00	23	19	30,85	24,78
15:00	21,7	28	29,97	25,49
16:00	19,7	38	35,83	33,14
17:00	18,8	38	39,87	37,77
18:00	17,3	51	47,62	46,28
19:00	16,5	51	52,23	51,19
20:00	15,6	51	57,89	57,13
21:00	14,9	76	62,74	62,16
22:00	14	76	69,68	69,27
23:00	12,6	76	82,35	82,12

Elaborado por los investigadores.

En la tabla 46 se muestra el error relativo y la fiabilidad calculada, en base a la relación de los valores obtenidos con ayuda del anexo 10 y los obtenidos mediante el algoritmo de inteligencia artificial.

Tabla 46 Comparativa error relativo y fiabilidad de CT.

Tipo de CT Parámetro	CT Tabla [min.mg/litro]	CT Calculado [min.mg/litro]
Error Relativo	0,106781774	0,204877432
Fiabilidad	99,89321823	99,79512257

Elaborado por los investigadores.

En segunda instancia se verifica que el agua mantenga el valor de cloro residual estipulado por el algoritmo de inteligencia artificial aplicando el medidor de cloro libre Hanna Instruments, especificado en el anexo 23, usando un set de compuestos se recogió una serie de muestras entre el martes 3 de enero y el lunes 9 de enero de 2023, el resultado de estas pruebas se encuentran en el anexo 24.

3.3.2. Generación de reportes de operatividad

Para la generación de reporte de operatividad se clasifica los datos en sensorización y control, mediante programación PHP y peticiones AJAX obtiene los datos alojados en las diferentes tablas de la base de datos, y genera tablas independientes que se puede descargar en formatos CSV y PDF como reporte. En la figura 122 se muestra la función de poder filtrar los datos por línea de tiempo, los mismos que servirán para generar un documento de reporte diario o mensual.



Figura 122 Filtración de datos por la línea de tiempo de sensorización.

Elaborado por los investigadores.

Al momento de generar un reporte mediante el filtrado de datos, se obtiene un documento correspondiente al reporte, este puede ser generado para la sección de: sensores o actuadores. En la figura 123 se muestra el formato de documento generado.



Figura 123 Filtración de datos por la línea de tiempo de sensorización.

Elaborado por los investigadores.

3.3.3. Eficiencia del prototipo con relación al sistema actual.

El departamento de agua potable y alcantarillado facilitó los datos necesarios para comprender la operatividad de la planta, para lograr definir la eficiencia del sistema propuesto frente al actual, considerando los datos mostrados en la tabla 47.

Tabla 47 Datos a considerar para dosificación.

Caudal que deseamos clorar:	61.8 litros/seg
Volumen tanque Cloración:	500 litros
Concentración deseada (Total)	0,8 mg/litro
Tipo Hipoclorito Calcio.	68 %
Tiempo clorado por día	24 h/día

Elaborado por los investigadores.

En el Anexo 29 se calcula, la concentración actual usada para la solución madre, solamente al conocer la capacidad del depósito donde se prepara, la cantidad de cloro usado y el tiempo que tarda en agotarse la preparación.

En base a cálculos disponibles en el anexo 25, se determina la concentración de la solución madre actual usada en la planta siendo de 6120 ppm con una duración esperada de 1,43 días.

Para poder escoger la concentración de la solución madre se debe considerar el promedio de agente desinfectante empleado en una semana obteniendo los datos de la tabla 48.

Tabla 48 Promedio cantidad de solución necesitada.

Dia	Cantidad de Litros	6500	6800	7000
Lunes 21		503,26	492,99	477,13
Martes 22		508,37	498,00	477,13
Miércoles 23		510,64	500,22	480,40
Jueves 24		502,69	492,43	469,50
Viernes 25		508,94	498,55	479,86
Sábado 26		522,00	511,35	501,12
Domingo 27		516,32	505,79	495,67
Total		510,32	499,91	482,97

Elaborado por los investigadores.

En medida que el depósito existente es de 500 litros y buscando no generar sobrantes, se ajusta la solución al 6800 ppm generando una concentración con ajuste de 6664 ppm.

Preparación de solución madre al 6800

En la tabla 49 se presenta los cálculos obtenidos para las concentraciones al 6800 ppm acorde a los parámetros necesitados.

Tabla 49 Concentraciones calculadas al 6800 ppm.

Parámetro	Unidad	Valor		
		1.0	1.2	1.4
Concentración	mg/litros	1.0	1.2	1.4
Peso	gr	4926,47	4926,47	4926,47
	Kg	4,9	4,9	4,9
Peso Asumido en la solución	gr	4900	4900	4900
Concentración	ppm	6664	6664	6664
	%	0,66	0,66	0,66
Cloro neto	gr/seg	0,062	0,074	0,086
Hipoclorito	gr/seg	0,090	0,11	0,13
Tiempo de duración de la solución	Días	1,25	1,04	0,89
	Horas	29,95	25	21,39
	Minutos	58	58	24
Dosis Solución	ml/min	278,21	333,85	389,49
	gotas/min	5564,23	6677,07	7789,91

Elaborado por los investigadores.

Se contempla la preparación para una solución fija para obtener la cantidad de cloro necesario en un día se debe promediar el cloro necesario por hora definiendo una tendencia, cuyos resultados se muestran en la tabla 50.

Tabla 50 Calculo duración de solución madre.

Parámetro	Unidad	Fija	Variable
Dosificación			
Concentración de solución madre	ppm	6120	6664
Cantidad de cloro residual	mg/litro	0,8	1-1,4
Cantidad de cloro	Gr	4540	4900
Cantidad de agua para solución necesaria en por día	Litros	351,41	499,91
Excedente de solución preparada	Litros	148,59	0,09
Duración horas y minutos	Horas	34	23
	Minutos	24	59
Cantidad de cloro excedente diario	gr	1360	0
Cantidad de excedente mensual	Kg	40,8	0
Cantidad de cloro usado al mes	Kg	136	147

Elaborado por los investigadores.

Empleando 4540 gramos como se lo hace actualmente, la solución madre debería durar 1 día con 10 horas y 24 minutos, razón por la que el método usado genera desperdicio, aun así, la medición de cloro residual en reservorio arroja un resultado pobre siendo de 0,8 mg/litros; generando mediciones de cloro residual en red inferiores a lo establecido por la normativa.

La concentración variable propuesta emplea 360 gramos extra diariamente en relación a la cantidad de hipoclorito empleada actualmente, se debe considerar que se propone incrementar la concentración de la solución de actual hasta 1,4 mg/litros en valor más alto y 1 mg/litros en su valor más bajo, con ello se obtiene un valor de cloro residual alto en reservorio permitiendo cumplir con la normativa, razón por la que se presenta un mayor consumo del agente desinfectante en el transcurso del día, al considerar concentración de la solución madre en dependencia de la temperatura del agua, contrario a lo empleado actualmente.

3.3.4. Nivel de conformidad con el sistema propuesto.

Para definir virtudes y falencias del sistema propuesto se planteó una entrevista estructurada para comprender la perspectiva frente a aspectos como operatividad, facilidad de uso del sistema, seguridad ofrecida en base a reportes y sistema de vigilancia.

1. Alba Guaigua - Operario Planta El Carrizal

Califique la funcionalidad del sistema respecto al sistema anterior

El sistema actual cambia bastante respecto al anterior ya que ahora se monitorea el estado del agua para poder definir la cantidad de cloro que se necesita en base a la temperatura, el uso de un programa para la administración de la planta facilita su manejo y tener todo dispuesto en un mismo sitio ahorra mucho tiempo, solo queda revisar posibles fugas o fallas típicas de las tuberías.

Opine acerca del sistema propuesto para dosificación de hipoclorito de calcio.

No varía casi en nada solo se incrementó casi una libra en la dosis que aplicaba anteriormente, pero ahora se dosifica más concentrada la solución; al tener el sistema variable entiendo que no siempre se usa la misma cantidad todo depende de las condiciones que presente el agua; además de ello la medición de la cantidad de cloro y su reabastecimiento es exactamente igual al sistema anterior no me ha presentado dificultad.

Ha sido de utilidad las opciones propuestas en la interfaz de control, explique deficiencias y virtudes.

Tener todas las características de la planta en un mismo sistema ha sido muy útil, ya que no tengo que cambiar de páginas para poder ver el estado de un tanque y si se está dosificando cloro con normalidad, opero solamente con el modo automático y por ello solo observo; los reportes que envía el sistema me sirven para corroborar la dosificación y si se está haciendo correctamente.

Califique la utilidad del sistema de vigilancia y alertas de telegram.

Ahora ya no necesito salir a comprobar el sistema como lo hacía antes solo accedo desde mi teléfono hacia la app y observo como esta, me avisa cuando inicia cada proceso y si hay algún mal funcionamiento; permite tener al instante de un daño un aviso para solucionarlo de forma inmediata.

Indique su nivel de satisfacción en base a los reportes ofrecidos.

Tener todos los datos por hora de la planta es muy útil ya que no debo tomar notas a mano como lo hacía antes, aunque además de los reportes virtuales tengo mi bitácora para tener un respaldo.

Explique a rasgos generales virtudes y falencias del sistema propuesto.

El sistema está pensado para el operario y su fácil uso, tanto la interfaz como la operación de los mecanismos electrobombas y sensores, están pensados para no interferir en el proceso de potabilización y su fácil reposición en caso de dañarse, su uso ha facilitado la vigilancia y operatividad de la planta ya que solo debo preparar la solución por la mañana y posterior a ello vigilar desde la cámara de presentarse algo me notifican al teléfono.

Algunas veces las lecturas de sensores pueden ser erróneas, pero es útil contar con dos sensores de nivel para el llenado, si falla uno opera el otro. La única falencia sería su dependencia de internet y de luz caso de no contar con ello el sistema queda por su cuenta.

2. Ing. Diana Romero – Administrador Planta Carrizal

Califique la funcionalidad del sistema respecto al sistema anterior

En base a los reportes ofrecidos se puede observar que constantemente se monitorea variables del agua además de tener un respaldo en una base de datos para su control histórico, anteriormente todos los reportes que teníamos eran manuales y la evaluación realizada por el laboratorio

Opine acerca del sistema propuesto para dosificación de hipoclorito de calcio.

Se ha mantenido la lógica en ese aspecto una reposición diaria del depósito de solución madre de hipoclorito de calcio incrementando su concentración y tiempo de acción con el agua cruda, usando ese extra de cloro se garantiza la calidad del agua; la dosis al ser variable solo se usa lo que realmente se necesita optimizando recursos.

Ha sido de utilidad las opciones propuestas en la interfaz de control, explique deficiencias y virtudes.

Tanto para operarios como administradores, desde la opción manual se puede alterar el funcionamiento de la planta en medida de lo necesario o pausar de forma abrupta operaciones, no tengo necesidad de acercarme a la planta para comprender su estado ya que todo está recogido en la interfaz además con el sistema de vigilancia y control puedo ver su funcionamiento y tener contacto con operarios observando la situación sin necesidad de realizar llamadas.

Califique la utilidad del sistema de vigilancia y alertas de telegram.

Al tener mi puesto de trabajo en la municipalidad muchas veces no puedo tener una noción de cómo operan las plantas tener un registro al instante en telegram me permite tomar medidas en caso de ser necesario y verificar el mantenimiento de la planta por parte de los operarios.

Indique su nivel de satisfacción en base a los reportes ofrecidos.

El registro histórico de parámetros como pH, temperatura, caudal y turbidez permite establecer en base a tablas la dosis calculada y contrastar con lo establecido por el sistema, revisar anomalías en el ingreso del agua cruda permitiendo ofrecer soluciones a casos de contaminación

Explique a rasgos generales virtudes y falencias del sistema propuesto.

El sistema recoge cantidad de opciones útiles tanto para operarios como administradores, ya que facilita el trabajo de ambas partes, de manera remota se tiene control de la operación de la planta y desde la misma se puede tomar acciones en base a los solicitado por administración; reportes, sistema de vigilancia, alertas además de histogramas en la interfaz permiten monitorear y controlar la planta a plenitud. La falencia su dependencia a internet y suministro energético, por ello se podría plantear con un plan de internet móvil además de un generador para que así la planta actúe de forma independiente de los servicios mencionados.

3.4. Presupuesto

En la tabla 51, se detalla los costos para la implementación del prototipo considerando los componentes electrónicos, insumos químicos además de la estructura física empleado en el desarrollo de este.

Tabla 51 Presupuesto

Ítem	Descripción	Cantidad	P. Unitario	P. Total
1	Sensor de Nivel	4	3,57	14,28
2	Sensor de Flujo de Caudal YF-201C	1	9,99	9,99
3	Sensor Ultrasonico HC-SR04	2	2,5	5
4	Sensor de pH Sen-0161	1	45,99	45,99
5	Sensor de temperatura DS18B20	1	3,99	3,99
6	Sensor de Turbidez Sen-0189	1	37,99	37,99
7	Sensor de conductividad SEN0101	1	24,99	24,99
8	Cámara Ip EZVIZ C3W Pro	1	123,75	123,75
9	Electrovalvula AQT15S	6	10,99	65,94
10	Bomba de agua	1	16	16
11	Bomba peristaltica KPHM100	1	35	35
12	Arduino Mega 2560	1	22	22
13	NodeMCU Esp8266	2	10	20
14	Modulo PWM	1	4,7	4,7
15	Modulo Arduino Ethernet	1	15	15
16	LCD 20x4 más modulo i2C	1	12,05	12,05
17	Materiales electronicos	1	10,6	10,6
18	Router	1	21	21
19	Fuente	1	44	44
20	Kit de Soldadura	1	15,52	15,52
21	Placa PCB	1	25	25
22	Corte de madera MDF	1	8	8
23	Elementos de plomería	1	32,31	32,31
24	Deposito plástico para agua	6	5	30
25	Filtro	1	3,5	3,5
26	Hanna Free Chlorine Reagents	2	25	50
27	Transporte	60	2,4	144
28	Materiales de oficina	1	76	76
29	Internet	6	22,4	134,4
30	Servidor en la nube	6	34,76	208,56
Subtotal				1259,56
IVA 12%				151,1472
TOTAL				1410,7072

Elaborado por los investigadores.

CAPITULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones

- El agua cruda que ingresa a la planta de potabilización “El Carrizal” en cumplimiento a la normativa establecida por la TULSMA en el anexo 1 tabla 2, delimita solamente necesaria la desinfección del agua sin aplicar más procedimientos para su consumo. Actualmente, en el proceso de cloración se aplica una concentración en la solución de hipoclorito de calcio inferior a la necesitada, al no permitir que el agente desinfectante actúe sobre el agua cruda por el tiempo necesario, el agua ofrecida al público obtiene un valor de cloro residual inferior al determinado por la normativa INEN 1108 haciéndola riesgosa para el consumo humano.
- El valor de CT permite unificar los parámetros determinantes en la desinfección del agua cruda como pH, temperatura y concentración en una variable que define la concentración de la solución madre y el tiempo de contacto necesitada por el agente desinfectante. Al no tener una distribución lineal, se puede utilizar una regresión polinómica para definir valores sin cambios abruptos entre temperaturas contiguas.
- La Arquitectura de IoT junto con el procesamiento de datos mediante microcontroladores (Arduino y Nodemcu), en procesos industriales automatizados en plantas de tratamiento de agua potable permite una mayor optimización de uso de los recursos para cada proceso especialmente para la dosificación de hipoclorito de calcio, mediante el uso de sensores y controladores, lo que garantiza una mayor precisión de dosificación, detección de problemas y fallos en los equipos en tiempo real.
- El análisis de varios algoritmos de inteligencia dentro de la clasificación de aprendizaje supervisado permite encontrar el que mejor se adapte al comportamiento de los datos de CT en función de la temperatura. Esto ayudará a evitar el sobreajuste del modelo de regresión, lo que puede llevar a resultados imprecisos o incorrectos. Utilizando tres algoritmos de regresión (Lineal, SVR y polinómico), y aplicando métodos de precisión (R2 ajustado, MAE y RMSE), se logró seleccionar al SVR y al polinomio de grado 5 como los mejores modelos de regresión, que se ajusta al conjunto de datos de dosificación en base al CT. Sin embargo, el SVR tiende a tener una variación significativa en temperaturas bajas

por lo cual se descartó y se seleccionó el modelo de regresión polinómico como el motor de control para el proceso de dosificación del prototipo.

- La cantidad de hipoclorito de calcio usada actualmente genera un desperdicio diario de 360 gr, debido a que la cantidad de agua para preparar la solución es mayor a la necesaria; sin embargo, su duración es de 24 horas y no de 34.24 horas como se calcula. Empleando el sistema de dosificación variable se usa mayor cantidad de solución variando entre 1 mg/litro y 1,4 mg/litro; al contemplar una dependencia de la temperatura, permitiendo emplear solo la cantidad necesaria apegándose a la necesidad del agua cruda tratada en cada momento.
- Los elementos considerados en la implementación a nivel industrial en la planta de potabilización “El Carrizal” se ajustan a sus necesidades de caudal de 61,8 litros/seg, al necesitar solamente de desinfección se limitan procesos que pueden ser industrializados; sin embargo el método de cloración desarrollado en base a un modelo de regresión polinomial es aplicable a cualquier planta de potabilización de baja capacidad, necesitando solamente de acondicionar los valores de pH, temperatura y cantidad de cloro residual en base al caso de estudio.

4.2. Recomendaciones

- La acción desinfectante del hipoclorito de calcio varía en relación con la temperatura del agua razón por la que se debe considerar que a mayor temperatura la cloración será más efectiva haciendo también que el compuesto se desvanezca con facilidad, al necesitar de almacenamiento se debe contemplar que las condiciones son variables en el transcurso del día, por ello la existencia de la dosificación de solución madre en concentración variable; la que permite emplear la misma cantidad de hipoclorito de calcio en polvo en preparación de solución madre para obtener mayores concentraciones hacia el agua cruda aplicando solamente mayor volumen de la solución preparada.
- La conexión a Internet estable es crucial para garantizar una baja latencia en la comunicación con un servidor alojado en la nube de “Google Platform”. Una conexión inestable puede causar retrasos en la transmisión de datos y problemas de rendimiento en el sistema, por lo tanto, es importante configurar correctamente los firewalls y los puertos necesarios para la comunicación con los microcontroladores, ya que esto ayudará a garantizar la seguridad y la privacidad

de los datos transmitidos. Sin una configuración adecuada de los firewalls y los puertos, el sistema puede estar expuesto a ataques cibernéticos y pérdida de datos.

- La función "gc.collect" en Python es utilizada para llamar al recolector de basura (garbage collector) y liberar la memoria ocupada por objetos que ya no son necesarios. Es importante el uso de esta función ya que desuso puede ocasionar que la memoria cache pueda llenarse con información no utilizada, lo que puede causar que el programa se sature y tenga problemas de rendimiento.
- Se recomienda utilizar un script bash junto con el servicio de crontab, para respaldar los datos de la base de datos MySQL principal a una secundaria cada fin de semana, con el objetivo de reducir la carga en la memoria principal y mejorar el rendimiento del sistema. Una forma de hacerlo es utilizando el comando "mysqldump" para crear una copia de seguridad de la base de datos principal y luego utilizando el comando "mysql" para importar la copia de seguridad en la base de datos secundaria
- Se recomienda utilizar el PLC CPL410 para la aplicación del prototipo a nivel industrial debido a su capacidad para manejar una amplia variedad de protocolos de comunicación, incluyendo Modbus y Profibus, que son ampliamente utilizados en aplicaciones industriales. En cuanto a los sensores, se recomienda utilizar aquellos que trabajen tengan con un rango de medición adecuado para la aplicación, una precisión aceptable y sobre todo con los protocolos Modbus y Profibus, ya que estos son ampliamente compatibles con el CPL410 y permiten una comunicación estable y confiable entre el PLC y los sensores.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] R. NEEZAR, «WATER QUALITY MONITORING SYSTEM WITH IOT,» Faculty of Electrical Engineering, Johor Bahru, 2018.
- [2] W. A. Conde Chicaiza, «Sistema de monitoreo y control para el proceso de potabilización en las juntas administradoras de agua potable (jaap),» Universidad Tècnica de Ambato, Ambato, 2019.
- [3] B. Christopher, «Data acquisition for water quality control,» The Pennsylvania State University, Pensilvania, 2021.
- [4] W.-T. Sung, «sensors.myu-group.co.jp,» 24 Febrero 2021. [En línea]. Available: https://sensors.myu-group.co.jp/sm_pdf/SM2668.pdf. [Último acceso: 18 Octubre 2022].
- [5] L. Li, «Shuming Rong,» 17 Julio 2020. [En línea]. Available: https://www.researchgate.net/publication/343666133_Recent_advances_in_artificial_intelligence_and_machine_learning_for_nonlinear_relationship_analysis_and_process_control_in_drinking_water_treatment_A_review.
- [6] J. Villena, «Calidad del agua y desarrollo sostenible,» *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Publica*, vol. 35, n° 2, 2018.
- [7] Resumen, Artist, *Indicadores ODS Agua, Saneamiento e Higiene*. [Art]. Instituto Nacional de Estadística y Censos, 2019.
- [8] GAD MUNICIPAL DEL CANTON SALCEDO, «Programa de desarrollo social del cantón Salcedo,» GAD SALCEDO, Salcedo, 2021.
- [9] D. Carrera, «ESPE,» 22 Octubre 2021. [En línea]. Available: <http://repositorio.espe.edu.ec/jspui/bitstream/21000/28914/1/T-ESPE-052112.pdf>. [Último acceso: 3 Junio 2022].
- [10] A. Fernández Cirelli, «Química Viva,» 3 Diciembre 2012. [En línea]. Available: <https://www.redalyc.org/pdf/863/86325090002.pdf>. [Último acceso: 6 Enero 2023].

- [11] Á. Martos-López, «Universidad de Jaén,» Octubre 2015. [En línea]. Available: <https://tauja.ujaen.es/handle/10953.1/2374>. [Último acceso: 6 Enero 2023].
- [12] T. Toledo, «Academia,» 26 Noviembre 2014. [En línea]. Available: https://www.academia.edu/9511155/Calidad_del_agua_evaluaci%C3%B3n_y_diagn%C3%B3stico. [Último acceso: 6 Enero 2023].
- [13] C. Idrovo, «Optimización de la planta de tratamiento de Uchupucun Universidad de,» Universidad de Cuenca, Cuenca, 2010.
- [14] J. Jiménez, Manual para el diseño de Sistemas de Agua Potable y Alcantarillado Sanitario, Veracruz: Universidad Veracruzana, 2019.
- [15] Sensorex, «Sensorex,» 20 Septiembre 2021. [En línea]. Available: <https://sensorex.com/2021/09/20/three-main-types-of-water-quality-parameters-explained/#:~:text=The%20physical%20parameters%20include%20color,ox,ygen%2C%20and%20biological%20oxygen%20demand..> [Último acceso: 16 Octubre 2022].
- [16] R. M. K. Carreño, «Salud.gob.ec,» Diciembre 2020. [En línea]. Available: <https://www.salud.gob.ec/wp-content/uploads/2020/12/Guia-AguaSegura.pdf>. [Último acceso: 6 Enero 2023].
- [17] A. Barrenechea, «Ingenieroambiental.com,» Agosto 2015. [En línea]. Available: <http://www.ingenieroambiental.com/4014/uno.pdf>. [Último acceso: 6 Enero 2023].
- [18] A. Moreno, «La Fresca Cosmetica,» 26 Febrero 2021. [En línea]. Available: <https://lafrescacosmetica.com/blogs/blog/que-es-un-sulfato-tipos-de-sulfatos-y-por-que-deberias-evitarlos>. [Último acceso: 6 Enero 2023].
- [19] M. Aguilar, «Gob.mx,» Enero 2001. [En línea]. Available: <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/166789/NMX-AA-073-SCFI-2001.pdf>. [Último acceso: 6 Enero 2023].

- [20] Corrosionpedia, «Corrosionpedia,» 10 Julio 2017. [En línea]. Available: <https://www.corrosionpedia.com/definition/978/residual-chlorine-water-treatment>. [Último acceso: 16 Octubre 2022].
- [21] Municipio de Santiago de Cali, Desarrollo del Saneamiento Básico en el Área Rural de Santiago de Cali, Cali: Municipio de Santiago de Cali, 2019.
- [22] Sswm, «Sswm.info,» 2018. [En línea]. Available: <https://sswm.info/es/gass-perspective-es/tecnologias-de-agua-y-saneamiento/tecnologias-de-abastecimiento-de-agua/coagulaci%C3%B3n-floculaci%C3%B3n-y-separaci%C3%B3n>. [Último acceso: 8 Enero 2023].
- [23] SPENA GROUP , «SPENA GROUP,» 8 Enero 2016. [En línea]. Available: <https://spenagroup.com/tratamiento-primario-del-agua-aguas-residuales-sistema-coagulacion-floculacion/>. [Último acceso: 8 Enero 2023].
- [24] Civil,Dream, «Dream Civil : Civil Engineering & Construction,» 27 Julio 2021. [En línea]. Available: <https://dreamcivil.com/sedimentation-in-water-treatment/>. [Último acceso: 8 Enero 2023].
- [25] J. Rowe, «Cálculos de Tiempo de Contacto,» 30 octubre 2022. [En línea]. Available: [https://espanol.libretexts.org/Vocacional/Tecnolog%C3%ADa_de_Sistemas_de_Agua/Water_151%3A_Planta_de_Tratamiento_de_Agua_y_Procesos_de_Operaci%C3%B3n_II_\(Rowe\)/01%3A_Cap%C3%ADtulos/1.02%3A_C%C3%A1lculos_de_Tiempo_de_Contacto#:~:text=Los%20valores%20CT%20s](https://espanol.libretexts.org/Vocacional/Tecnolog%C3%ADa_de_Sistemas_de_Agua/Water_151%3A_Planta_de_Tratamiento_de_Agua_y_Procesos_de_Operaci%C3%B3n_II_(Rowe)/01%3A_Cap%C3%ADtulos/1.02%3A_C%C3%A1lculos_de_Tiempo_de_Contacto#:~:text=Los%20valores%20CT%20s). [Último acceso: 10 enero 2023].
- [26] Mayoclinic, «Infección por giardia (giardiosis),» 8 noviembre 2022. [En línea]. Available: <https://www.mayoclinic.org/es-es/diseases-conditions/giardia-infection/symptoms-causes/syc-20372786#:~:text=Los%20par%C3%A1sitos%20Giardia%20lamblia%20viven,fuera%20del%20intestino%20durante%20meses..> [Último acceso: 17 enero 2023].

- [27] Comisión nacional de Agua, Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento, Ciudad de México: Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2015.
- [28] M. Fernandez, «aniq.org.mx,» 2019. [En línea]. Available: [https://aniq.org.mx/pqta/pdf/manual%20del%20cloro%20\(lit\).pdf](https://aniq.org.mx/pqta/pdf/manual%20del%20cloro%20(lit).pdf). [Último acceso: 8 Enero 2023].
- [29] Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y ciencias del ambiente , Diseño de plantas de tecnología apropiada, Lima: Organización panamericana de la salud, 2004.
- [30] C. Og, «prezi,» 27 Noviembre 2014. [En línea]. Available: <https://prezi.com/h7hy9y-qwhyc/hipoclorito-por-gravedad/>. [Último acceso: 8 Enero 2023].
- [31] Cooperación Alemana al Desarrollo – Agencia de la GIZ en el Perú, Manual para la cloración del agua en sistemas de abastecimiento de agua potable en el ámbito rural, Lima: ProAgua, 2017.
- [32] G. Arun K, de *Introduction to control systems, Second Edition*, Kalyani, PHI learning private , 2013, pp. 88-89.
- [33] R. Teja, «Electronics Hub,» 23 Abril 2021. [En línea]. Available: <https://www.electronicshub.org/open-loop-system/>. [Último acceso: 19 Octubre 2022].
- [34] Sanz.Ricardo, «Arquitectura de Control inteligente del proceso,» Autonomous Systems Laboratory, Madrid, 1990.
- [35] M. Hardik, «Communication(Wired) Protocols in IOT,» 29 noviembre 2017. [En línea]. Available: <https://medium.com/@hardymunjal/communication-wired-protocols-in-iot-ae263675f542>. [Último acceso: 5 enero 2023].
- [36] Link Labs, «Wireless IoT Network Protocols,» 8 febrero 2016. [En línea]. Available: <https://www.link-labs.com/blog/complete-list-iot-network-protocols>. [Último acceso: 5 enero 2023].

- [37] I. De Mendizábal, «IoT Communication Protocols—IoT Data Protocols,» 16 junio 2022. [En línea]. Available: <https://www.allaboutcircuits.com/technical-articles/internet-of-things-communication-protocols-iot-data-protocols/>. [Último acceso: 5 enero 2023].
- [38] Kellton, «Guide to IoT Protocols and Standards,» 16 mayo 2019. [En línea]. Available: <https://www.kellton.com/kellton-tech-blog/internet-of-things-protocols-standards>. [Último acceso: 5 enero 2023].
- [39] D. Kroenke, *Procesamiento de Base de Datos*, México: Pearson Educación, 2018.
- [40] Profile Software Services, «Profile Software Services,» 22 Marzo 2018. [En línea]. Available: <https://profile.es/blog/servicios-cloud-que-es-iaas-saas-y-paas/>. [Último acceso: 8 Enero 2023].
- [41] K. Ward, «Timeline of Revolutions- Manufacturing Data Summit,» 18 febrero 2019. [En línea]. Available: <https://manufacturingdata.io/newsroom/timeline-of-revolutions>. [Último acceso: 5 enero 2023].
- [42] Universidad Europea, «Aplicaciones IoT en la Industria,» 29 marzo 2022. [En línea]. Available: <https://universidadeuropea.com/blog/iot-en-industria/>. [Último acceso: 5 enero 2023].
- [43] I. Khan y M. Javaid, «Role of Internet of Things (IoT) in Adoption of Industry 4.0,» *Journal of Industrial Integration and Management*, vol. 7, n° 4, pp. 515-534, 2022.
- [44] B. Christiansen, «4 Keys To Adopting Industry 4.0 At Your Water Processing Facility - Water Online,» 5 mayo 2022. [En línea]. Available: <https://www.wateronline.com/doc/keys-to-adopting-industry-at-your-water-processing-facility-0001>. [Último acceso: 5 enero 2023].
- [45] J. Vallarta, «Aprendizaje supervisado y no supervisado,» 1 enero 2022. [En línea]. Available: <https://healthdataminer.com/data-mining/aprendizaje-supervisado-y-no-supervisado/>. [Último acceso: 5 enero 2023].

- [46] DataRobot, «Semi-Supervised Learning,» 11 agosto 2020. [En línea]. Available: <https://www.datarobot.com/blog/semi-supervised-learning/>. [Último acceso: 5 enero 2023].
- [47] S. Gupta, «Regression vs. Classification in Machine Learning,» 6 octubre 2021. [En línea]. Available: <https://www.springboard.com/blog/data-science/regression-vs-classification/>. [Último acceso: 5 enero 2023].
- [48] Appier, «Appier.com,» 14 Enero 2021. [En línea]. Available: <https://www.appier.com/en/blog/5-types-of-regression-analysis-and-when-to-use-them>. [Último acceso: 5 Enero 2023].
- [49] M. Banoula, «Simplilearn.com,» 17 Mayo 2021. [En línea]. Available: <https://www.simplilearn.com/tutorials/machine-learning-tutorial/machine-learning-steps>. [Último acceso: 5 Enero 2022].
- [50] L. Gonzalez, «Aprende IA,» 23 Noviembre 2018. [En línea]. Available: <https://aprendeia.com/evaluando-el-error-en-los-modelos-de-regresion/>. [Último acceso: 5 Enero 2022].
- [51] Greg, «Khanacademy.org,» 2 Enero 2018. [En línea]. Available: <https://www.khanacademy.org/math/statistics-probability/summarizing-quantitative-data/other-measures-of-spread/a/mean-absolute-deviation-mad-review#:~:text=The%20mean%20absolute%20deviation%20of,the%20variability%20in%20a%20dataset..> [Último acceso: 5 Enero 2023].
- [52] L. Quisimalín, «EPN,» 8 Mayo 2017. [En línea]. Available: <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/17367>. [Último acceso: 5 Enero 2022].
- [53] T. Koray, «Holistic SEO,» 27 Octubre 2021. [En línea]. Available: <https://www.holisticseo.digital/technical-seo/web-server/>. [Último acceso: 05 Enero 2023].
- [54] Etecé, «Concepto,» 6 Noviembre 2013. [En línea]. Available: <https://concepto.de/servidor/>. [Último acceso: 5 Enero 2023].

- [55] C. European, «TIC Portal,» 5 Diciembre 2022. [En línea]. Available: <https://www.ticportal.es/glosario-tic/base-datos-database>. [Último acceso: 5 Enero 2023].
- [56] M. Martín, «Guru99,» 4 Abril 2022. [En línea]. Available: <https://www.guru99.com/what-is-backend-developer.html>. [Último acceso: 5 Enero 2022].
- [57] GAD Municipal del Cantón Salcedo, «Estudios Plan Maestro Saneamiento de la ciudad de Salcedo,» Thesa Consultores Cia Ltda, Salcedo, 2017.
- [58] Departamento de Sanidad del Estado de Nueva York, Manual de Tratamiento de Aguas, México, D.F: Editorial Limusa, 1964.
- [59] D. Jost, «What is a Level Sensor,» 1 octubre 2019. [En línea]. Available: <https://www.fierceelectronics.com/sensors/what-a-level-sensor>. [Último acceso: 10 noviembre 2022].
- [60] L. Prielipp, «What is a level sensor?,» 17 junio 2019. [En línea]. Available: <https://realpars.com/level-sensor/>. [Último acceso: 10 noviembre 2022].
- [61] Beegle, «P52 Horizontal,» [En línea]. Available: https://www.beegleshop.com/MLM-807385758-p52-sensor-nivel-agua-interruptor-horizontal-arduino-_JM. [Último acceso: 11 enero 2023].
- [62] Doctech, «Water level switch ZP5210,» 27 julio 2021. [En línea]. Available: <https://seli.tn/Doctech/ZP5210.pdf>. [Último acceso: 11 enero 2023].
- [63] Handson Technology, «HC-SR04 Ultrasonic Sensor Module User Guide,» 27 julio 2017. [En línea]. Available: <https://www.handsontec.com/dataspecs/HC-SR04-Ultrasonic.pdf>. [Último acceso: 11 enero 2023].
- [64] Naylamp, «SENSOR ULTRASONIDO JSN-SR04T,» 2 julio 2017. [En línea]. Available: <https://naylampmechatronics.com/img/cms/Datasheets/JSN-SR04T-2-0.pdf>. [Último acceso: 11 enero 2023].
- [65] Naylamp Mechatronics, «SENSOR ULTRASONIDO JSN-SR04T V3.0,» [En línea]. Available: <https://naylampmechatronics.com/sensores->

- proximidad/861-sensor-ultrasonido-jsn-sr04t-v3.html. [Último acceso: 11 enero 2023].
- [66] Renke, «PH Sensor Types, Application And Maintenance,» 8 noviembre 2021. [En línea]. Available: <https://www.renkeer.com/ph-sensor-types/>. [Último acceso: 10 noviembre 2022].
- [67] DF Robot, «Ph Sensor SEN0161,» 14 junio 2019. [En línea]. Available: <https://www.application-datasheet.com/pdf/dfrobot/sen0161.pdf>. [Último acceso: 11 enero 2023].
- [68] D. Jost, «What is a Flow Sensor?,» 15 octubre 2019. [En línea]. Available: <https://www.fierceelectronics.com/sensors/what-a-flow-sensor>. [Último acceso: 10 noviembre 2022].
- [69] Huang, Cai, «ITEM:YF-S201C,» 12 octubre 2016. [En línea]. Available: https://www.danomsk.ru/upload/iblock/43d/193917_3b664efb7b37f7ae8ea1eea40978a265.pdf. [Último acceso: 3 enero 2023].
- [70] Hsh-Flow, «5VDC Water Flow Sensor 1/4" Turbine Flowmeter Industrial-grade Large Flowmeter Pulse Signal,» [En línea]. Available: <https://hsh-flow-store.com/products/5vdc-water-flow-sensor-1-4-turbine-flowmeter-industrial-grade-large-flowmeter-pulse-signal>. [Último acceso: 11 enero 2023].
- [71] Imimg, «Water Flow Sensor YF-S402,» 9 septiembre 2017. [En línea]. Available: <https://5.imimg.com/data5/SJ/LH/MY-1833510/yf-s402-g1-4-pvc-water-flow-sensor.pdf>. [Último acceso: 11 enero 2023].
- [72] DFRobot, «Turbidity sensor,» 1 Agosto 2018. [En línea]. Available: https://wiki.dfrobot.com/Turbidity_sensor_SKU__SEN0189. [Último acceso: 10 noviembre 2022].
- [73] Keyestudio, «Keyestudio Turbidity Sensor V1.0 With Wires Compatible with Arduino for Water Testing,» 3 marzo 2021. [En línea]. Available: <https://www.keyestudio.com/products/keyestudio-turbidity-sensor-v10-with-wires-compatible-with-arduino-for-water-testing>. [Último acceso: 11 enero 2023].

- [74] DF Robot, «Turbidity sensor SKU: SEN0189,» 30 enero 2017. [En línea]. Available:
<https://www.digikey.co.il/htmldatasheets/production/2071175/0/0/1/SEN0189.pdf>. [Último acceso: 11 enero 2023].
- [75] D. Jost, «What is a temperature sensor?,» 2 julio 2019. [En línea]. Available:
<https://www.fierceelectronics.com/sensors/what-a-temperature-sensor>.
[Último acceso: 10 noviembre 2022].
- [76] Aosong Electronics Co.,Ltd, «Digital-output relative humidity & temperature sensor/module DHT22,» 28 septiembre 2010. [En línea]. Available:
<https://www.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Temperature/DHT22.pdf>.
[Último acceso: 11 enero 2023].
- [77] GAIMC, «DS18B20 Temperature Sensor,» 2 enero 2019. [En línea]. Available:
<https://www.gaimc.com/Uploads/Download/Temperature/GTS200.pdf>.
[Último acceso: 11 enero 2023].
- [78] D-Robotics, «DHT11 Humidity & Temperature Sensor,» 16 marzo 2018. [En línea]. Available: <https://www.mouser.com/datasheet/2/758/DHT11-Technical-Data-Sheet-Translated-Version-1143054.pdf>. [Último acceso: 16 enero 2023].
- [79] Mettler Toledo, «Conductivity Sensor,» 8 abril 2020. [En línea]. Available:
<https://www.mt.com/us/en/home/products/Process-Analytics/conductivity-resistivity-analyzers/conductivity-sensor.html>. [Último acceso: 10 noviembre 2022].
- [80] Utmel, «What is Conductivity Sensor?,» 20 junio 2022. [En línea]. Available:
<https://www.utmel.com/blog/categories/sensors/what-is-conductivity-sensor>.
[Último acceso: 10 noviembre 2022].
- [81] DF Robot, «Analog Electrical Conductivity Sensor,» 6 diciembre 2018. [En línea]. Available:
https://media.digikey.com/pdf/Data%20Sheets/DFRobot%20PDFs/DFR0300-H_Web.pdf. [Último acceso: 11 enero 2023].

- [82] Ming, «Módulo de Sensor de conductividad, detección de calidad del agua para Arduino 51/STM32,» [En línea]. Available: <https://es.aliexpress.com/item/4001344672810.html?gatewayAdapt=glo2esp>. [Último acceso: 11 enero 2023].
- [83] Bayalarm, «What are IP cameras and how do they work?,» 5 marzo 2021. [En línea]. Available: <https://www.bayalarm.com/commercial/security-cameras-commercial/what-are-ip-cameras-and-how-do-they-work/#>. [Último acceso: 5 noviembre 2022].
- [84] Amcrest, «Amcrest IP5M-B1186EW,» 11 septiembre 2020. [En línea]. Available: <https://support.amcrest.com/hc/en-us/articles/360049090092-User-Manual-IP5M-B1186EW->. [Último acceso: 11 enero 2023].
- [85] Ezviz, «C3W Pro,» 29 noviembre 2022. [En línea]. Available: https://mfs.ezvizlife.com/C3W+Pro+4MP_datasheet.pdf?ver=57466. [Último acceso: 11 enero 2023].
- [86] Reolink, «RLC-811A,» 2023. [En línea]. Available: <https://reolink.com/product/rlc-811a/>. [Último acceso: 11 enero 2023].
- [87] Válvulas Arco, «Electroválvulas: Qué es y para qué sirve,» 2 marzo 2020. [En línea]. Available: <https://blog.valvulasarco.com/electrovalvulas-que-es-y-para-que-sirve>. [Último acceso: 10 noviembre 2022].
- [88] Aqua Tech Trading Corporation Limited, «solenoid valve catalogue,» 21 julio 2021. [En línea]. Available: https://www.mouser.com/datasheet/2/813/Aqua_Tech_Solenoid_Valves-2488498.pdf. [Último acceso: 11 enero 2023].
- [89] J. Woodard, «What is a Peristaltic Pump and How Does It Work?,» 21 marzo 2019. [En línea]. Available: <https://www.freshwatersystems.com/blogs/blog/what-is-a-peristaltic-pump-and-how-does-it-work>. [Último acceso: 10 noviembre 2022].
- [90] Kamoer, «Kamoer KPHM100 Peristaltic Pump,» 2021. [En línea]. Available: <https://pdf.directindustry.com/pdf/kamoer-fluid-tech-shanghai-co>

ltd/kamoer-kphm100-peristaltic-pump-data-sheet/242598-1016662.html.
[Último acceso: 11 enero 2023].

- [91] Kamoer, «KPHM400 Motor Peristaltic Pump,» 2021. [En línea]. Available: <https://www.kamoer.com/kphm400.html>. [Último acceso: 11 enero 2023].
- [92] Kamoer, «Bomba peristáltica KHPP260,» 2021. [En línea]. Available: <https://www.directindustry.es/prod/kamoer-fluid-tech-shanghai-co-ltd/product-242598-2511056.html>. [Último acceso: 11 enero 2023].
- [93] Arduino Official Store, «Arduino Official Store,» 2022. [En línea]. Available: <https://store.arduino.cc/products/arduino-mega-2560-rev3>. [Último acceso: 9 Enero 2023].
- [94] Naylamp Mechatronic, «Naylamp Mechatronic,» 2021. [En línea]. Available: <https://naylampmechatronics.com/espressif-esp/153-nodemcu-v2-esp8266-wifi.html>. [Último acceso: 9 Enero 2023].
- [95] Alliedelec, «Alliedelec,» 2022. [En línea]. Available: <https://www.alliedelec.com/m/d/4252b1ecd92888dbb9d8a39b536e7bf2.pdf>. [Último acceso: 9 Enero 2023].
- [96] «Sites.google.com,» 29 Mayo 2014. [En línea]. Available: <https://sites.google.com/site/itachiuchiha1304/fuentes-de-poder>. [Último acceso: 9 Enero 2023].
- [97] D. d. S. B. D. G. d. S. A. M. d. S. d. Perú, «Desinfección de sistemas, caracterización de fuentes de agua y cloración del agua para consumo humano.,» 14 marzo 2016. [En línea]. Available: https://www.mef.gob.pe/contenidos/presu_public/migl/metas/taller_PI_meta35_2.pdf. [Último acceso: 2022 diciembre 12].
- [98] World Health Organization of Drinking-water Chlorination, «Principles and Practices,» 1 enero 2017. [En línea]. Available: <https://apps.who.int/iris/handle/10665/255145>. [Último acceso: 23 noviembre 2022].
- [99] Walkerton Clean Water Centre, «Selection of a Baffling Factor for CT Calculations,» 29 septiembre 2015. [En línea]. Available: <https://wccw.ca/wp->

content/uploads/2020/06/WCWC-Fact-Sheet_Vol-1_Issue-5_Baffling-Factor-Selection-for-CT-Calcs.pdf. [Último acceso: 5 enero 2023].

- [100] US EPA, «US EPA,» 13 Mayo 2016. [En línea]. Available: <https://espanol.epa.gov/espanol/desinfeccion-de-agua-potable-en-situaciones-de-emergencia>. [Último acceso: 9 Enero 2023].
- [101] J. Guerracarmenate, «Programar fácil con Arduino,» 29 Septiembre 2020. [En línea]. Available: <https://programarfácil.com/blog/arduino-blog/pwm-con-arduino-analogico/>. [Último acceso: 11 Enero 2023].
- [102] O. Ajay, «Popular Regression Algorithms In Machine Learning Of 2022,» 16 junio 2022. [En línea]. Available: <https://www.jigsawacademy.com/popular-regression-algorithms-ml>. [Último acceso: 29 diciembre 2022].
- [103] G. Sharma, «Analytics Vidhya-5 Regression Algorithms you should know – Introductory Guide,» 26 mayo 2021. [En línea]. Available: <https://www.analyticsvidhya.com/blog/2021/05/5-regression-algorithms-you-should-know-introductory-guide/#:~:text=Linear%20Regression%20is%20an%20ML,the%20other%20given%20independent%20variables..> [Último acceso: 29 diciembre 2022].
- [104] PACSystems, «PACSystems,» Diciembre 2021. [En línea]. Available: <https://www.opertek.com/hardware/plc-cpl410-linux/>. [Último acceso: 14 Enero 2023].
- [105] Plc-city.com, «Plc-city.com,» 2023. [En línea]. Available: https://www.plc-city.com/shop/en/siemens-distributed-i-o-simatic-et-200s-accessories/6es7193-4ga00-0aa0-nfs.html?SubmitCurrency=1&id_currency=3&gclid=https://www.plc-city.com/shop/en/siemens-distributed-i-o-simatic-et-200s-accessories/6es7193-4ga00-0aa0-n. [Último acceso: 14 Enero 2023].
- [106] ABB MEASUREMENT & ANALYTICS, «ABB MEASUREMENT & ANALYTICS,» 2022. [En línea]. Available: https://library.e.abb.com/public/3ef52079044f4ebba43d7211e5e939b3/DS_TB82PH-ES_H.pdf?x-

sign=aTmVJFTzwMbmR7wbPUyRwSSQ92wAz5h8hE1/EgujareCzb2F3Gu/Ce7TYH9Fiz0I. [Último acceso: 14 Enero 2023].

- [107] ABB MEASUREMENT & ANALYTICS, «ABB MEASUREMENT & ANALYTICS,» 2022. [En línea]. Available: https://library.e.abb.com/public/355e576fc64141e690b8861f916d3130/OI_ATS410-ES%20Rev%20A.pdf?x-sign=vlb+U1UfStubRA+lcvGn7ntH0PRXvBgr6GjC7FdUTQbFfbQvOhvO9s3gI3GEGAIR. [Último acceso: 14 Enero 2023].
- [108] library.e.abb.com, «library.e.abb.com,» 2021. [En línea]. Available: https://library.e.abb.com/public/f7f230cbf7e4be8fc1257b0c00540e4e/DS_FEA100-ES.pdf. [Último acceso: 14 Enero 2023].
- [109] library.e.abb.com, «library.e.abb.com,» 2021. [En línea]. Available: https://library.e.abb.com/public/d37d6cce34d9d364c1257b0c00549006/OI_TSP-ES-07_2006.pdf. [Último acceso: 14 Enero 2023].
- [110] new.abb.com, «Measurement Products,» 13 Julio 2022. [En línea]. Available: <https://search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=DS%2fTB404-EN&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch>. [Último acceso: 14 Enero 2023].
- [111] DirectIndustry, «<http://twitter.com/DirectIndustry>,» 2015. [En línea]. Available: <https://www.directindustry.es/prod/abb-measurement-analytics/product-56271-560968.html>. [Último acceso: 14 Enero 2023].
- [112] Siemens.com, «Siemens.com,» 2021. [En línea]. Available: https://hit.sbt.siemens.com/RWD/app.aspx?RC=ES&lang=es&MODULE=Product&ACTION=ShowGroup&KEY=HIT_Pseudo_Grp_0. [Último acceso: 14 Enero 2023].
- [113] Blue-White Industries, «Blue-White Industries,» 2021. [En línea]. Available: <https://es.blue-white.com/product/m5-peristaltic-metering-pump/>. [Último acceso: 14 Enero 2023].
- [114] OMS, «Departamento de asuntos económicos y sociales de Naciones Unidas,» 13 Agosto 2011. [En línea]. Available:

- <https://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/quality.shtml>. [Último acceso: 7 junio 2022].
- [115] Oracle, «What Is a Database,» 27 septiembre 2021. [En línea]. Available: <https://www.oracle.com/database/what-is-database/#WhatIsDBMS>. [Último acceso: 19 octubre 2022].
- [116] B. Anderson, «SQL vs. NoSQL Databases: What's the Difference?,» 12 junio 2022. [En línea]. Available: <https://www.ibm.com/cloud/blog/sql-vs-nosql>. [Último acceso: 19 octubre 2022].
- [117] H. Selman, «THE ROLE OF SERVERS IN TRADITIONAL PROGRAMMING ARCHITECTURE,» 31 marzo 2022. [En línea]. Available: <https://dataconomy.com/2022/03/what-is-a-server-computer/>. [Último acceso: 19 octubre 2022].
- [118] B. Posey, «What is a Server,» 18 junio 2020. [En línea]. Available: <https://www.techtarget.com/whatis/definition/server>. [Último acceso: 19 octubre 2022].
- [119] W. S. School, «Usgs.gov,» 22 Octubre 2019. [En línea]. Available: <https://www.usgs.gov/special-topics/water-science-school/science/turbidity-and-water>. [Último acceso: 16 Octubre 2022].
- [120] N. Hancock, «Safe Drinking Water Foundation,» 28 Noviembre 2016. [En línea]. Available: <https://www.safewater.org/fact-sheets-1/2018/8/15/water-temperature-fact-sheet>. [Último acceso: 16 Octubre 2022].
- [121] E. Cirino, «Healthline,» 18 Enero 2018. [En línea]. Available: <https://www.healthline.com/health/ph-of-drinking-water>. [Último acceso: 16 Octubre 2022].
- [122] I. E. D. NORMALIZACIÓN, «INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN,» 6 Marzo 2020. [En línea]. Available: <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/1108.pdf>. [Último acceso: 17 Octubre 2022].

- [123] K. Maiquiza, «Identificación de diatomeas epilíticas asociadas a la calidad del agua en el río Yanayacu, sector San Juan, cantón Salcedo, provincia de Cotopaxi,2020,» Universidad Técnica de Cotopaxi, Latacunga, 2020.
- [124] ANAVANLAB, «INFORME MONITOREO CALIDAD DE AGUA GAD SALCEDO,» Quito, 2022.
- [125] CEPIS, Tratamiento de agua para consumo humano. Plamtas de filtración rápida. Manual 1: Teoría. Tomo 1, Lima: Organización Panamericana de la Salud, 2004.
- [126] E. Bahit, Curso: Python Avanzado, Buenos Aires: Creative Commons Atributions, 2021.
- [127] Celona.io, «Celona.io,» 2022. [En línea]. Available: [https://www.celona.io/network-architecture/iot-architecture#:~:text=IoT%20architecture%20consists%20of%20the,Network%20\(the%20connectivity%20between%20devices\)](https://www.celona.io/network-architecture/iot-architecture#:~:text=IoT%20architecture%20consists%20of%20the,Network%20(the%20connectivity%20between%20devices).). [Último acceso: 6 Enero 2023].
- [128] Tenea, «Tenea.com,» 7 Marzo 2021. [En línea]. Available: <https://www.tenea.com/tecnologia/inteligencia-artificial/tipos-de-algoritmos>. [Último acceso: 6 Enero 2023].
- [129] Ministerio de vivienda, construccion y saneamiento del Perú, «Actividad 2: Realizar la limpieza y desinfección; y calibración de los sistema de agua seleccionados,» 1 enero 2020. [En línea]. Available: https://www.mef.gob.pe/contenidos/presu_publico/mig/metas/ACTIVIDAD_02_Meta5_2020.pdf. [Último acceso: 6 enero 2023].
- [130] ResearchGate, «ResearchGate,» 2016. [En línea]. Available: https://www.researchgate.net/figure/Arquitectura-para-Internet-de-las-Cosas-En-la-cima-de-la-arquitectura-esta-la-Capa-de_fig1_320353907. [Último acceso: 8 Enero 2023].
- [131] J. L. Bugarin, «Consultorjava.com,» Abril 2019. [En línea]. Available: <https://consultorjava.com/blog/ciclo-de-vida-del-machine-learning/>. [Último acceso: 8 Enero 2023].

- [132] Anndason, «Float Switch Fish Tank Liquid Water Level Sensor,Model: DP3500,» 3 abril 2021. [En línea]. Available: <https://www.macao.ubuy.com/en/product/4WU21KO-anndason-6-pieces-plastic-pp-float-switch-fish-tank-liquid-water-level-sensor-model-dp3500>. [Último acceso: 11 enero 2023].
- [133] HANNA INSTRUMENTS, «HANNA BOLIVIA,» Junio 2022. [En línea]. Available: https://cdn.hannabolivia.com/hannacdn/support/manual/2022/06/man701_es.pdf. [Último acceso: 11 Enero 2023].
- [134] Made-in-China.com, «Made-in-China.com,» 2019. [En línea]. Available: https://es.made-in-china.com/co_jnxinying/product_Siemens-Solenoid-Valve-Motorized-Valve-Temperature-Controlled-Water-Valves_eghiysygy.html. [Último acceso: 14 Enero 2023].
- [135] SG Buzz, «SG Buzz,» 2020. [En línea]. Available: <https://sg.com.mx/revista/56/tecnologias-inalambricas-iot>. [Último acceso: 18 Enero 2023].

ANEXOS

Anexo 1: Certificación de la dirección de Agua Potable y Alcantarillado del cantón Salcedo

Ingeniera, Mg.

Pilar Urrutia

DECANA

Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial

Presente. -

De mi consideración:

Yo, Diana Fernanda Romero Córdova, con cedula de ciudadanía No. 0502938954, con registro del Senecyt N° 1079-14-1318992, Ingeniera en Electrónica e Instrumentación y en mi calidad de Analista de Automatización de la Dirección de Agua Potable y Alcantarillado; certifico que he revisado el proyecto de titulación de grado "SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO Y CONTROL PARA LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE "EL CARRIZAL-SALCEDO" BASADO EN IOT E INTELIGENCIA ARTIFICIAL"; el mismo que fue desarrollado en su total autoría por el Sr. Saul Alexis Contreras Clavijo, portador de la cedula de ciudadanía 0550637821, estudiante de la Carrera de Telecomunicaciones de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial de la Universidad Técnica de Ambato. Después de haber cumplido con todas las actividades previstas en el cronograma (octubre 2022- febrero 2023), me permito validar la funcionabilidad del prototipo y puedo indicar que cumple con los requisitos necesarios en el área de tratamiento de agua potable.

Cabe indicar que el prototipo servirá como base para posteriores proyectos de automatización de las diferentes plantas de tratamiento de agua potable del cantón Salcedo.

Atentamente,

 Firmado electrónicamente por:
DIANA FERNANDA
ROMERO CORDOVA

Ing. Diana Romero

Analista de Automatización

Ingeniera, Mg.

Pilar Urrutia

DECANA

Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial

Presente. -

De mi consideración:

Yo, Diana Fernanda Romero Córdova, con cedula de ciudadanía No. 0502938954, con registro del Senecyt N° 1079-14-1318992, Ingeniera en Electrónica e Instrumentación y en mi calidad de Analista de Automatización de la Dirección de Agua Potable y Alcantarillado; certifico que he revisado el proyecto de titulación de grado "SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO Y CONTROL PARA LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE "EL CARRIZAL-SALCEDO" BASADO EN IOT E INTELIGENCIA ARTIFICIAL"; el mismo que fue desarrollado en su total autoría por el Sr. Xavier Gonzalo Rojano Mueses, portador de la cedula de ciudadanía 1804409470, estudiante de la Carrera de Telecomunicaciones de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial de la Universidad Técnica de Ambato. Después de haber cumplido con todas las actividades previstas en el cronograma (octubre 2022- febrero 2023), me permito validar la funcionabilidad del prototipo y puedo indicar que cumple con los requisitos necesarios en el área de tratamiento de agua potable.

Cabe indicar que el prototipo servirá como base para posteriores proyectos de automatización de las diferentes plantas de tratamiento de agua potable del cantón Salcedo.

Atentamente,



Firmado electrónicamente por:
DIANA FERNANDA
ROMERO CORDOVA

Ing. Diana Romero

Analista de Automatización

Anexo 2: Estudios Plan Maestro Saneamiento de la ciudad de Salcedo

Proyecto:

ESTUDIOS DE EVALUACIÓN, DIAGNÓSTICO Y DISEÑOS DEFINITIVOS DEL SISTEMA DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO SANITARIO Y PLUVIAL DE LA CIUDAD SAN MIGUEL DE SALCEDO.



FASE 2

- **DISEÑOS DEFINITIVOS SISTEMA DE AGUA POTABLE**
- **DISEÑOS DEFINITIVOS ALCANTARILLADO SANITARIO – PLUVIAL SISTEMA COMBINADO**

ING. HÉCTOR GUTIÉRREZ
ALCALDE DEL GAD MUNICIPAL
DEL CANTÓN SALCEDO

ING. MARCO SILVA
ADMINISTRADOR DEL CONTRATO

ING. TARQUINO VIERA
FISCALIZADOR DEL CONTRATO

THESA Consultores Cía. Ltda.
CONSULTORA

AÑO 2017

Anexo 3: Norma De Calidad Ambiental Y De Descarga De Efluentes: Recurso Agua

NORMA DE CALIDAD AMBIENTAL Y DE DESCARGA DE EFLUENTES : RECURSO AGUA

0 INTRODUCCIÓN

La presente norma técnica ambiental es dictada bajo el amparo de la Ley de Gestión Ambiental y del Reglamento a la Ley de Gestión Ambiental para la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental y se somete a las disposiciones de éstos, es de aplicación obligatoria y rige en todo el territorio nacional.

La presente norma técnica determina o establece:

- a) Los límites permisibles, disposiciones y prohibiciones para las descargas en cuerpos de aguas o sistemas de alcantarillado;
- b) Los criterios de calidad de las aguas para sus distintos usos; y,
- c) Métodos y procedimientos para determinar la presencia de contaminantes en el agua.

1 OBJETO

La norma tiene como objetivo la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental, en lo relativo al recurso agua.

El objetivo principal de la presente norma es proteger la calidad del recurso agua para salvaguardar y preservar la integridad de las personas, de los ecosistemas y sus interrelaciones y del ambiente en general.

Las acciones tendientes a preservar, conservar o recuperar la calidad del recurso agua deberán realizarse en los términos de la presente Norma.

2 DEFINICIONES

Para el propósito de esta norma se consideran las definiciones establecidas en el Reglamento a la Ley de Gestión Ambiental para la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental, y las que a continuación se indican:

2.1 Agua costera

Es el agua adyacente a la tierra firme, cuyas propiedades físicas están directamente influenciadas por las condiciones continentales.

2.2 Agua marina

TABLA 2. Límites máximos permisibles para aguas de consumo humano y uso doméstico que únicamente requieran desinfección.

Parámetros	Expresado Como	Unidad	Límite Máximo Permissible
Aceites y Grasas	Sustancias solubles en hexano	mg/l	0,3
Aluminio total	Al	mg/l	0,1
Amoniaco	N-amoniacal	mg/l	1,0
Arsénico (total)	As	mg/l	0,05
Bario	Ba	mg/l	1,0
Berilio	Be	mg/l	0,1
Boro (total)	B	mg/l	0,75
Cadmio	Cd	mg/l	0,001
Cianuro (total)	CN ⁻	mg/l	0,01
Cobalto	Co	mg/l	0,2
Cobre	Cu	mg/l	1,0
Color	color real	Unidades de color	20
Coliformes Totales	nmp/100 ml		50*
Cloruros	Cl ⁻	mg/l	250
Compuestos fenólicos	Expresado como fenol	mg/l	0,002
Cromo hexavalente	Cr ⁺⁶	mg/l	0,05
Compuestos fenólicos	Expresado como fenol	mg/l	0,002
Cromo hexavalente	Cr ⁺⁶	mg/l	0,05
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	DBO ₅	mg/l	2
Dureza	CaCO ₃	mg/l	500
Estaño	Sn	mg/l	2,0
Fluoruros	F	mg/l	Menor a 1,4
Hierro (total)	Fe	mg/l	0,3
Litio	Li	mg/l	2,5
Manganeso (total)	Mn	mg/l	0,1
Materia Flotante			Ausencia
Mercurio (total)	Hg	mg/l	0,001
Níquel	Ni	mg/l	0,025
Nitrato	N-Nitrato	mg/l	10,0
Nitrito	N-Nitrito	mg/l	1,0
Olor y sabor			Ausencia
Oxígeno disuelto	O.D	mg/l	No menor al 80% del oxígeno de

Parámetros	Expresado Como	Unidad	Límite Máximo Permissible
			saturación y no menor a 6 mg/l

Continúa...

Continuación...

TABLA 2. Límites máximos permisibles para aguas de consumo humano y uso doméstico que únicamente requieran desinfección.

Parámetros	Expresado Como	Unidad	Límite Máximo Permissible
Plata (total)	Ag	mg/l	0,05
Plomo (total)	Pb	mg/l	0,05
Potencial de Hidrógeno	pH		6-9
Selenio (total)	Se	mg/l	0,01
Sodio	Na	mg/l	200
Sulfatos	SO ₄ ⁼	mg/l	250
Sólidos disueltos totales		mg/l	500
Temperatura	°C		Condición Natural +/- 3 grados
Tensoactivos	Sustancias activas al azul de metileno	mg/l	0,5
Turbiedad		UTN	10
Uranio Total		mg/l	0,02
Vanadio	V	mg/l	0,1
Zinc	Zn	mg/l	5,0
Hidrocarburos Aromáticos			
Benceno	C ₆ H ₆	mg/l	0,01
Benzo-a- pireno		mg/l	0,00001
Pesticidas y Herbicidas			
Organoclorados totales	Concentración de organoclorados totales	mg/l	0,01
Organofosforados y carbamatos	Concentración de organofosforados y carbamatos totales.	mg/l	0,1

Parámetros	Expresado Como	Unidad	Límite Máximo Permissible
Toxafeno		µg/l	0,01
Compuestos Halogenados			
Tetracloruro de carbono		mg/l	0,003
Dicloroetano (1,2-)		mg/l	0,01
Tricloroetano (1,1,1-)		mg/l	0,3

Nota:

*Cuando se observe que más del 40% de las bacterias coliformes representadas por el Índice NMP, pertenecen al grupo coliforme fecal, se aplicará tratamiento convencional al agua a emplearse para el consumo humano y doméstico.


Anexo 4: Medición de cloración matutina

DIRECCION DE LA DAPA
GOBIERNO AUTONOMO DE CENTRALIZADO DEL CANTON SALCEDO
DIRECCION DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO DAPA
REPORTE DE VOLUMENES DE TANQUE DE RESERVA Y DE CLORO RESIDUAL
 PLANTA: CARRIZAL
 OPERADOR: ALBA GUAIGUA
 Semana del 21 al 27 de noviembre.

HORA \ DIA	LUNES	MARTES	MIERCOLES	JUEVES	VIERNES	SABADO	DOMINGO
9:00	0,8 ppm	0,7 ppm	0,6 ppm	0,7 ppm	0,6 ppm	0,6 ppm	0,8 ppm
Temperatura	14,8 °C	12,4 °C	12 °C	13 °C	11,8 °C	10,4 °C	14,8 °C
11:30	1,0 ppm	1,0 ppm	1,0 ppm	1,1 ppm	1,0 ppm	0,9 ppm	1,0 ppm
Temperatura	18,7 °C	18,4 °C	18,2 °C	19,2 °C	17,4 °C	16,2 °C	18,5 °C
13:00	1,1 ppm	1,1 ppm	1,1 ppm	1,2 ppm	1,1 ppm	1,0 ppm	1,0 ppm
Temperatura	20,8 °C	21,3 °C	21,1 °C	22,1 °C	20,3 °C	18,7 °C	19,3 °C
14:30	1,0 ppm	1,2 ppm	1,1 ppm	1,2 ppm	1,1 ppm	1,0 ppm	0,9 ppm
Temperatura	19,4 °C	21,2 °C	20,9 °C	22,5 °C	21,3 °C	18,5 °C	17,3 °C
16:00	1,0 ppm	1,0 ppm	1,0 ppm	1,1 ppm	1,0 ppm	0,9 ppm	0,8 ppm
Temperatura	18,1 °C	18,9 °C	18,7 °C	19,7 °C	19,1 °C	16,8 °C	15,5 °C

OBSERVACION:.....

RESPONSABLE:


 SRA. ALBA GUAIGUA
 OPERADOR

Anexo 5: Bitácora de cloración diaria

DIRECCION DE LA DAPA
GOBIERNO AUTONOMO DE CENTRALIZADO DEL CANTON SALCEDO
DIRECCION DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO DAPA
REPORTE DE VOLUMENES DE TANQUE DE RESERVA Y DE CLORO RESIDUAL
 PLANTA: CARRIZAL
 OPERADOR: ALBA GUAIGUA
 Semana del 21 al 27 de noviembre.

HORA \ DIA	LUNES	MARTES	MIERCOLES	JUEVES	VIERNES	SABADO	DOMINGO
9:00	0,8 ppm	0,7 ppm	0,6 ppm	0,7 ppm	0,6 ppm	0,6 ppm	0,8 ppm
Temperatura	14,8 °C	12,4 °C	12 °C	13 °C	11,8 °C	10,4 °C	14,8 °C
11:30	1,0 ppm	1,0 ppm	1,0 ppm	1,1 ppm	1,0 ppm	0,9 ppm	1,0 ppm
Temperatura	18,7 °C	18,4 °C	18,2 °C	19,2 °C	17,4 °C	16,2 °C	18,5 °C
13:00	1,1 ppm	1,1 ppm	1,1 ppm	1,2 ppm	1,1 ppm	1,0 ppm	1,0 ppm
Temperatura	20,8 °C	21,3 °C	21,1 °C	22,1 °C	20,3 °C	18,7 °C	19,3 °C
14:30	1,0 ppm	1,2 ppm	1,1 ppm	1,2 ppm	1,1 ppm	1,0 ppm	0,9 ppm
Temperatura	19,6 °C	21,2 °C	20,9 °C	22,5 °C	21,3 °C	18,5 °C	17,3 °C
16:00	1,0 ppm	1,0 ppm	1,0 ppm	1,1 ppm	1,0 ppm	0,9 ppm	0,8 ppm
Temperatura	18,1 °C	18,9 °C	18,7 °C	19,7 °C	19,1 °C	16,8 °C	15,5 °C

OBSERVACION:.....

RESPONSABLE:



SRA. ALBA GUAIGUA
OPERADOR



INFORME MONITOREO CALIDAD DE AGUA

REPORTE DE AGUA POTABLE Y AGUAS RESIDUALES DE
LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO

**GOBIERNO AUTÓNOMO DESCENTRALIZADO
MUNICIPAL DEL CANTÓN SALCEDO**

ENERO 2021

Anexo 7: Resultado análisis de agua en base a Tabla 2 Anexo 1 TULSMA

Tabla 8. Resultado Tabla 2 AM097-A (PARTE 2)

No. de Laboratorio			35978	35979	36036	TULSMA, AM097, ANEXO 1, TABLA 2.
Identificación			CAPTACION EL CARRIZAL	A.CAPTACION SAN LIZARDO	CAPTACION TOALIN	
Fecha Muestreo			24/01/2022	24/01/2022	25/01/2022	
Hora Muestreo			17:12	9:40	10:12	
Proyecto			GAD SALCEDO			
Parámetro	Unidades	Método	Resultado	Resultado	Resultado	
Aceites y Grasas	mg/L	(AAA-PE-A001/ SM 5520 C)	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,3
Arsénico	mg/L	(AAA-PE-A023/ SM 3114 C, 3112 B. EPA 3015)	< 0,0005	< 0,0005	< 0,0005	0,05
Bario	mg/L	(AAA-PE-A022/ SM 3111 D. EPA 3015)	< 1,0	< 1,0	< 1,0	1,3
Cadmio	mg/L	(AAA-PE-A022/ SM 3111 B. EPA 3015)	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,001
Cianuros	mg/L	(AAA-PE-A004/ SM 4500 - CN E.)	< 0,010	< 0,010	< 0,010	0,01
Cobre	mg/L	(AAA-PE-A022/ SM 3111 B. EPA 3015)	< 0,005	< 0,005	< 0,005	0,005
Coliformes Fecales NMP	mg/L	(AAA-PE-A015/ SM 9223 B)	< 1,0	< 1,0	< 1,0	NA
Color	(U. Pt-Co)	(AAA-PE-A007/ SM 2120 C)	2	< 1	2	NA
Cromo Hexavalente	mg/L	(AAA-PE-A009/ SM3500 Cr B)	< 0,010	< 0,010	< 0,010	NA
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	(AAA-PE-A011/ SM 5220 C y D)	29	5	< 4	40
Fluoruros	mg/L	(AAA-PE-A017/ SM 4500-F D)	0,7	1,29	< 0,05	NA
Hidrocarburos Totales de Petróleo	mg/L	(AAA-PE-A020/ SM 5520 F)	< 0,05	< 0,05	< 0,05	0,5
Hierro	mg/L	(AAA-PE-A022/ SM 3111 B. EPA 3015)	< 0,25	< 0,25	< 0,25	0,3
Mercurio	mg/L	(AAA-PE-A023/ SM 3114 C, 3112 B. EPA 3015)	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	0,0002
Nitratos	mg/L	AAA-PE-A024/ SM 4500-NO3 E.	1,1	1,5	1,1	13
Nitritos	mg/L	AAA-PE-A025/ SM 4500-NO2 E.	0,02	0,05	< 0,01	0,2
Plomo	mg/L	(AAA-PE-A022/ SM 3111 B. EPA 3015)	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,001
Selenio	mg/L	(AAA-PE-A023/ SM 3114 C, 3112 B. EPA 3015)	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,001
Sulfatos	mg/L	(AAA-PE-A037/ SM 4500 SO42- E)	50	48	10	NA
Turbidez	mg/L	AAA-PE-A038/ SM 2130 B	0,2	0,24	< 0,100	NA
pH in situ	Unid. pH	(AAA-PI-A002/ SM 4500-H+ B)	6,8	7,5	6,6	6,5-9,0

- ✓ Se observa que las muestras de agua de captación cumplen con lo dispuesto por el TULSMA, ANEXO 1, TABLA 2. CRITERIOS CALIDAD PRESERVACION VIDA ACUATICA Y SILVESTRE EN AGUAS DULCES.

Anexo 8: Resultado obtenido de la planta El Carrizal en base a la normativa INEN 1108

Tabla 8. Resultado Tabla INEN 1108 (PARTE 1)

No. de Laboratorio	Identificación	Fecha Muestreo	Hora Muestreo	Proyecto	Parámetro	Coliformes Fecales NMP	Cloro libre residual in situ
					Unidades	NMP/100mL	mg/L
					Método	AAA-PE-A015/ SM 9223 B	AAA-PE-A005/ SM 4500 Cl G.
36030	SAN LIZARDO (RDF)	24/01/2022	12:10	GAD SALCEDO	Resultado	AUSENCIA	< 0,04
36034	CONSUMO CUSUBAMBA	25/01/2022	12:56		Resultado	AUSENCIA	0,13
36035	CONSUMO SAN LIZARDO	25/01/2022	12:20		Resultado	3	0,06
36203	CARRIZAL MUESTRA 1	31/01/2022	11:20		Resultado	AUSENCIA	0,07
36204	CARRIZAL MUESTRA 2	31/01/2022	11:40		Resultado	AUSENCIA	0,14
36205	TOALIN MUESTRA 1	31/01/2022	11:50		Resultado	AUSENCIA	0,29
36206	TOALIN MUESTRA 2	31/01/2022	12:00		Resultado	AUSENCIA	0,23
NTE INEN 1108:2020						AUSENCIA	0,3-1,5

Anexo 9: Tablas CT

Table C-2. CT Values for Inactivation of Giardia Cysts by Free Chlorine at 5 °C

CHLORINE CONCENTRATION (mg/L)	pH<=6 Log Inactivation						pH=6.5 Log Inactivation						pH=7.0 Log Inactivation						pH=7.5 Log Inactivation					
	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0
<=0.4	16	32	49	65	81	97	20	39	59	78	98	117	23	46	70	93	116	139	28	55	83	111	138	166
0.6	17	33	50	67	83	100	20	40	60	80	100	120	24	49	72	95	119	143	29	57	86	114	143	171
0.8	17	34	52	69	86	103	20	41	61	81	102	122	24	49	73	97	122	146	29	58	88	117	146	175
1	18	35	53	70	88	105	21	42	63	83	104	125	25	50	75	99	124	149	30	60	90	119	149	179
1.2	18	36	54	71	89	107	21	42	64	85	106	127	25	51	76	101	127	152	31	61	92	122	153	183
1.4	18	36	55	73	91	109	22	43	65	97	108	130	26	52	78	103	129	155	31	62	94	125	156	187
1.6	19	37	56	74	93	111	22	44	66	88	110	132	26	53	79	105	132	158	32	64	96	128	160	192
1.8	19	38	57	76	95	114	23	45	69	90	113	135	27	54	81	108	135	162	33	65	98	131	163	196
2	19	39	58	77	97	116	23	46	69	92	115	138	28	55	83	110	138	165	33	67	100	133	167	200
2.2	20	39	59	79	98	118	23	47	70	93	117	140	28	56	85	113	141	169	34	68	102	136	170	204
2.4	20	40	60	80	100	120	24	48	72	95	119	143	29	57	86	115	143	172	35	70	105	139	174	209
2.6	20	41	61	81	102	122	24	49	73	97	122	146	29	58	88	117	146	175	36	71	107	142	178	213
2.8	21	41	62	83	103	124	25	49	74	99	123	148	30	59	89	119	148	178	36	72	109	145	181	217
3	21	42	63	84	105	126	25	50	76	101	126	151	30	61	91	121	152	182	37	74	111	147	184	221

CHLORINE CONCENTRATION (mg/L)	pH=8.0 Log Inactivation						pH=8.5 Log Inactivation						pH=9.0 Log Inactivation											
	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0						
<=0.4	33	66	99	132	165	198	39	79	118	157	197	236	47	93	140	186	233	279						
0.6	34	68	102	136	170	204	41	81	122	163	203	244	49	97	146	194	243	291						
0.8	35	70	105	140	175	210	42	84	126	168	210	252	50	100	151	201	251	301						
1	36	72	108	144	180	216	43	87	130	173	217	260	52	104	156	208	260	312						
1.2	37	74	111	147	184	221	45	89	134	178	223	267	53	107	160	213	267	320						
1.4	38	76	114	151	189	227	46	91	137	183	228	274	55	110	165	219	274	329						
1.6	39	77	116	155	193	232	47	94	141	197	234	281	56	112	169	225	281	337						
1.8	40	79	119	159	198	238	48	96	144	191	239	287	58	115	173	230	288	345						
2	41	81	122	162	203	243	49	98	147	196	245	294	59	118	177	235	294	353						
2.2	41	83	124	165	207	248	50	100	150	200	250	300	60	120	181	241	301	361						
2.4	42	84	127	169	211	253	51	102	153	204	255	306	61	123	184	245	307	368						
2.6	43	86	129	172	215	258	52	104	156	208	260	312	63	125	189	250	313	375						
2.8	44	88	132	175	219	263	53	106	159	212	265	318	64	127	191	255	318	382						
3	45	89	134	179	223	268	54	108	162	216	270	324	65	130	195	259	324	389						

Source: AWWA, 1991.

Table C-3. CT Values for Inactivation of Giardia Cysts by Free Chlorine at 10 °C

CHLORINE CONCENTRATION (mg/L)	pH<=6 Log Inactivation						pH=6.5 Log Inactivation						pH=7.0 Log Inactivation						pH=7.5 Log Inactivation					
	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0
<=0.4	12	24	37	49	61	73	15	29	44	59	73	88	17	35	52	69	87	104	21	42	63	83	104	125
0.6	13	25	38	50	63	75	15	30	45	60	75	90	18	36	54	71	89	107	21	43	64	85	107	128
0.8	13	26	39	52	65	78	15	31	46	61	77	92	18	37	55	73	92	110	22	44	66	87	109	131
1	13	26	40	53	66	79	16	31	47	63	78	94	19	37	56	75	93	112	22	45	67	89	112	134
1.2	13	27	40	53	67	80	16	32	48	63	79	95	19	38	57	76	95	114	23	46	69	91	114	137
1.4	14	27	41	55	68	82	16	33	49	65	82	98	19	39	58	77	97	116	23	47	70	93	117	140
1.6	14	28	42	55	69	83	17	33	50	66	83	99	20	40	60	79	99	119	24	48	72	96	120	144
1.8	14	29	43	57	72	86	17	34	51	67	84	101	20	41	61	81	102	122	25	49	74	98	123	147
2	15	29	44	58	73	87	17	35	52	69	87	104	21	41	62	83	103	124	25	50	75	100	125	150
2.2	15	30	45	59	74	89	18	35	53	70	88	105	21	42	64	85	106	127	26	51	77	102	128	153
2.4	15	30	45	60	75	90	18	36	54	71	89	107	22	43	65	86	108	129	26	52	79	105	131	157
2.6	15	31	46	61	77	92	18	37	55	73	92	110	22	44	66	87	109	131	27	53	80	107	133	160
2.8	16	31	47	62	78	93	19	37	56	74	93	111	22	45	67	89	112	134	27	54	82	109	136	163
3	16	32	48	63	79	95	19	38	57	75	94	113	23	46	69	91	114	137	28	55	83	111	138	166

CHLORINE CONCENTRATION (mg/L)	pH=8.0 Log Inactivation						pH=8.5 Log Inactivation						pH=9.0 Log Inactivation											
	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0						
<=0.4	25	50	75	99	124	149	30	59	89	118	148	177	35	70	105	139	174	209						
0.6	26	51	77	102	128	153	31	61	92	122	153	183	36	73	109	145	182	218						
0.8	26	53	79	105	132	158	32	63	95	126	158	189	38	75	113	151	188	226						
1	27	54	81	108	135	162	33	65	98	130	163	195	39	78	117	156	195	234						
1.2	28	55	83	111	138	166	33	67	100	133	167	200	40	80	120	160	200	240						
1.4	28	57	85	113	142	170	34	69	103	137	172	206	41	82	124	165	206	247						
1.6	29	58	87	116	145	174	35	70	106	141	176	211	42	84	127	169	211	253						
1.8	30	60	90	119	149	179	36	72	108	143	179	215	43	86	130	173	216	259						
2	30	61	91	121	152	182	37	74	111	147	184	221	44	88	133	177	221	265						
2.2	31	62	93	124	155	186	38	75	113	150	188	225	45	90	136	181	226	271						
2.4	32	63	95	127	158	190	38	77	115	153	192	230	46	92	138	184	230	276						
2.6	32	65	97	129	162	194	39	78	117	156	195	234	47	94	141	187	234	281						
2.8	33	66	99	131	164	197	40	80	120	159	199	239	48	96	144	191	239	287						
3	34	67	101	134	168	201	41	81	122	162	203	243	49	97	146	195	243	292						

Source: AWWA, 1991.

Table C-4. CT Values for Inactivation of Giardia Cysts by Free Chlorine at 15°C

CHLORINE CONCENTRATION (mg/L)	pH<=6 Log Inactivation						pH=6.5 Log Inactivation						pH=7.0 Log Inactivation						pH=7.5 Log Inactivation					
	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0
<=0.4	8	16	25	33	41	49	10	20	30	39	49	59	12	23	35	47	58	70	14	28	42	55	69	83
0.6	8	17	25	33	42	50	10	20	30	40	50	60	12	24	36	48	60	72	14	29	43	57	72	86
0.8	9	17	26	35	43	52	10	20	31	41	51	61	12	24	37	49	61	73	15	29	44	59	73	88
1	9	18	27	35	44	53	11	21	32	42	53	63	13	25	38	50	63	75	15	30	45	60	75	90
1.2	9	18	27	36	45	54	11	21	32	43	53	64	13	25	38	51	63	76	15	31	46	61	77	92
1.4	9	18	28	37	46	55	11	22	33	43	54	65	13	26	39	52	65	78	16	31	47	63	78	94
1.6	9	19	28	37	47	56	11	22	33	44	55	66	13	26	40	53	66	79	16	32	48	64	80	96
1.8	10	19	29	38	48	57	11	23	34	45	57	68	14	27	41	54	68	81	16	33	49	65	82	98
2	10	19	29	39	48	58	12	23	35	46	58	69	14	28	42	55	69	83	17	33	50	67	83	100
2.2	10	20	30	39	49	59	12	23	35	47	58	70	14	28	43	57	71	85	17	34	51	68	85	102
2.4	10	20	30	40	50	60	12	24	36	48	60	72	14	29	43	57	72	86	18	35	53	70	88	105
2.6	10	20	31	41	51	61	12	24	37	49	61	73	15	29	44	59	73	88	18	36	54	71	89	107
2.8	10	21	31	41	52	62	12	25	37	49	62	74	15	30	45	59	74	89	18	36	55	73	91	109
3	11	21	32	42	53	63	13	25	38	51	63	76	15	30	46	61	76	91	19	37	56	74	93	111

CHLORINE CONCENTRATION (mg/L)	pH=8.0 Log Inactivation						pH=8.5 Log Inactivation						pH=9.0 Log Inactivation											
	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0						
<=0.4	17	33	50	66	83	99	20	39	59	79	98	118	23	47	70	93	117	140						
0.6	17	34	51	68	85	102	20	41	61	81	102	122	24	49	73	97	122	146						
0.8	18	35	53	70	88	105	21	42	63	84	105	126	25	50	76	101	126	151						
1	18	36	54	72	90	108	22	43	65	87	108	130	26	52	78	104	130	156						
1.2	19	37	56	74	93	111	22	45	67	89	112	134	27	53	80	107	133	160						
1.4	19	38	57	76	95	114	23	46	69	91	114	137	28	55	83	110	138	165						
1.6	19	39	58	77	97	116	24	47	71	94	118	141	28	56	85	113	141	169						
1.8	20	40	60	79	99	119	24	48	72	96	120	144	29	59	87	115	144	173						
2	20	41	61	81	102	122	25	49	74	98	123	147	30	59	89	118	148	177						
2.2	21	41	62	83	103	124	25	50	75	100	125	150	30	60	91	121	151	181						
2.4	21	42	64	85	106	127	26	51	77	102	128	153	31	61	92	123	153	184						
2.6	22	43	65	86	108	129	26	52	78	104	130	156	31	63	94	125	157	188						
2.8	22	44	66	88	110	132	27	53	80	106	133	159	32	64	96	127	159	191						
3	22	45	67	89	112	134	27	54	81	109	135	162	33	65	98	130	163	195						

Source: AWWA, 1991.

Table C-5. CT Values for Inactivation of Giardia Cysts by Free Chlorine at 20°C

CHLORINE CONCENTRATION (mg/L)	pH<=6 Log Inactivation						pH=6.5 Log Inactivation						pH=7.0 Log Inactivation						pH=7.5 Log Inactivation					
	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0
<=0.4	6	12	18	24	30	36	7	15	22	29	37	44	9	17	26	35	43	52	10	21	31	41	52	62
0.6	6	13	19	25	32	38	8	15	23	30	38	45	9	18	27	36	45	54	11	21	32	43	53	64
0.8	7	13	20	26	33	39	8	15	23	31	38	46	9	18	28	37	46	55	11	22	33	44	55	66
1	7	13	20	26	33	39	8	16	24	31	39	47	9	19	28	37	47	56	11	22	34	45	56	67
1.2	7	13	20	27	33	40	8	16	24	32	40	48	10	19	29	38	48	57	12	23	35	46	58	69
1.4	7	14	21	27	34	41	8	16	25	33	41	49	10	19	29	39	48	58	12	23	35	47	58	70
1.6	7	14	21	28	35	42	8	17	25	33	42	50	10	20	30	39	49	59	12	24	36	48	60	72
1.8	7	14	22	29	36	43	9	17	26	34	43	51	10	20	31	41	51	61	12	25	37	49	62	74
2	7	15	22	29	37	44	9	17	26	35	43	52	10	21	31	41	52	62	13	25	38	50	63	75
2.2	7	15	22	29	37	44	9	18	27	35	44	53	11	21	32	42	53	63	13	26	39	51	64	77
2.4	8	15	23	30	38	45	9	18	27	36	45	54	11	22	33	43	54	65	13	26	39	52	65	78
2.6	8	15	23	31	38	46	9	18	28	37	46	55	11	22	33	44	55	66	13	27	40	53	67	80
2.8	8	16	24	31	39	47	9	19	28	37	47	56	11	22	34	45	56	67	14	27	41	54	68	81
3	9	16	24	31	39	47	10	19	29	38	48	57	11	23	34	45	57	68	14	28	42	55	69	83

CHLORINE CONCENTRATION (mg/L)	pH=8.0 Log Inactivation						pH=8.5 Log Inactivation						pH=9.0 Log Inactivation											
	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0						
<=0.4	12	25	37	49	62	74	15	30	45	59	74	89	19	35	53	70	88	105						
0.6	13	26	39	51	64	77	15	31	46	61	77	92	18	36	55	73	91	109						
0.8	13	26	40	53	66	79	16	32	48	63	79	95	19	38	57	75	94	113						
1	14	27	41	54	68	81	16	33	49	65	82	98	20	39	59	78	98	117						
1.2	14	28	42	55	69	83	17	33	50	67	83	100	20	40	60	80	100	120						
1.4	14	28	43	57	71	85	17	34	52	69	86	103	21	41	62	82	103	123						
1.6	15	29	44	58	73	87	18	35	53	70	88	105	21	42	63	84	105	126						
1.8	15	30	45	59	74	89	18	36	54	72	90	108	22	43	65	86	108	129						
2	15	30	46	61	76	91	18	37	55	73	92	110	22	44	66	88	110	132						
2.2	16	31	47	62	78	93	19	38	57	75	94	113	23	45	68	90	113	135						
2.4	16	32	48	63	79	95	19	38	58	77	96	115	23	46	69	92	115	139						
2.6	16	32	49	65	81	97	20	39	59	78	98	117	24	47	71	94	117	141						
2.8	17	33	50	66	83	99	20	40	60	79	99	119	24	48	72	95	119	143						
3	17	34	51	67	84	101	20	41	61	81	102	122	24	49	73	97	122	146						

Source: AWWA, 1991.

Table C-6. CT Values for Inactivation of Giardia Cysts by Free Chlorine at 25°C

CHLORINE CONCENTRATION (mg/L)	pH<=6						pH=6.5						pH=7.0						pH=7.5					
	Log Inactivation						Log Inactivation						Log Inactivation						Log Inactivation					
	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0
<=0.4	4	8	12	16	20	24	5	10	15	19	24	29	6	12	18	23	29	35	7	14	21	28	35	42
0.6	4	8	13	17	21	25	5	10	15	20	25	30	6	12	18	24	30	36	7	14	22	29	36	43
0.8	4	9	13	17	22	26	5	10	16	21	26	31	6	12	19	25	31	37	7	15	22	29	37	44
1	4	9	13	17	22	26	5	10	16	21	26	31	6	12	19	25	31	37	8	15	23	30	38	45
1.2	5	9	14	18	23	27	5	11	16	21	27	32	6	13	19	25	32	38	8	15	23	31	38	46
1.4	5	9	14	18	23	27	6	11	17	22	28	33	7	13	20	26	33	39	8	16	24	31	39	47
1.6	5	9	14	19	23	28	6	11	17	22	28	33	7	13	20	27	33	40	8	16	24	32	40	48
1.8	5	10	15	19	24	29	6	11	17	23	28	34	7	14	21	27	34	41	8	16	25	33	41	49
2	5	10	15	19	24	29	6	12	13	23	29	35	7	14	21	27	34	41	8	17	25	33	42	50
2.2	5	10	15	20	25	30	6	12	18	23	29	35	7	14	21	28	35	42	9	17	26	34	43	51
2.4	5	10	15	20	25	30	6	12	19	24	30	36	7	14	22	29	36	43	9	17	26	35	43	52
2.6	5	10	16	21	26	31	6	12	19	25	31	37	7	15	22	29	37	44	9	18	27	35	44	53
2.8	5	10	16	21	26	31	6	12	19	25	31	37	8	15	23	30	38	45	9	18	27	36	45	54
3	5	11	16	21	27	32	6	13	19	25	32	38	8	15	23	31	38	46	9	18	28	37	46	55
CHLORINE CONCENTRATION (mg/L)	pH=8.0						pH=8.5						pH=9.0											
	Log Inactivation						Log Inactivation						Log Inactivation											
	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0						
<=0.4	8	17	25	33	42	50	10	20	30	39	49	59	12	23	35	47	58	70						
0.6	9	17	26	34	43	51	10	20	31	41	51	61	12	24	37	49	61	73						
0.8	9	18	27	35	44	53	11	21	32	42	53	63	13	25	38	50	63	75						
1	9	19	27	36	45	54	11	22	33	43	54	65	13	26	39	52	65	78						
1.2	9	18	28	37	46	55	11	22	34	45	56	67	13	27	40	53	67	80						
1.4	10	19	29	38	48	57	12	23	35	46	58	69	14	27	41	55	68	82						
1.6	10	19	29	39	48	58	12	23	35	47	58	70	14	28	42	56	70	84						
1.8	10	20	30	40	50	60	12	24	36	48	60	72	14	29	43	57	72	86						
2	10	20	31	41	51	61	12	25	37	49	62	74	15	29	44	59	73	89						
2.2	10	21	31	41	52	62	13	25	38	50	63	75	15	30	45	60	75	90						
2.4	11	21	32	42	53	63	13	26	39	51	64	77	15	31	46	61	77	92						
2.6	11	22	33	43	54	65	13	26	39	52	65	78	16	31	47	63	78	94						
2.8	11	22	33	44	55	66	13	27	40	53	67	80	16	32	48	64	80	96						
3	11	22	34	45	56	67	14	27	41	54	68	81	16	32	49	65	81	97						

Source: AWWA, 1991.

Anexo 10: Archivos de programación

a) Programación de los microcontroladores

Enlace de repositorio GitHub, donde se aloja la programación de los microcontroladores Arduino y esp8266:

<https://github.com/saul101998/MICROCONTROLADORES.git>

b) Programación del sitio web

Enlace de repositorio GitHub, donde se aloja el diseño web del proyecto de integración curricular:

<https://github.com/saul101998/CARRIZAL.git>

c) Programación del control de dosificación “Python”

Enlace de repositorio GitHub, donde se aloja la programación del control de dosificación del sistema:

<https://github.com/saul101998/PYTHON.git>

d) Entrenamiento algoritmo de regresión polinomial

Enlace de repositorio GitHub, donde se aloja la programación del diseño y entrenamiento del algoritmo de inteligencia artificial:

https://github.com/saul101998/CONTROL_MACHINE.git

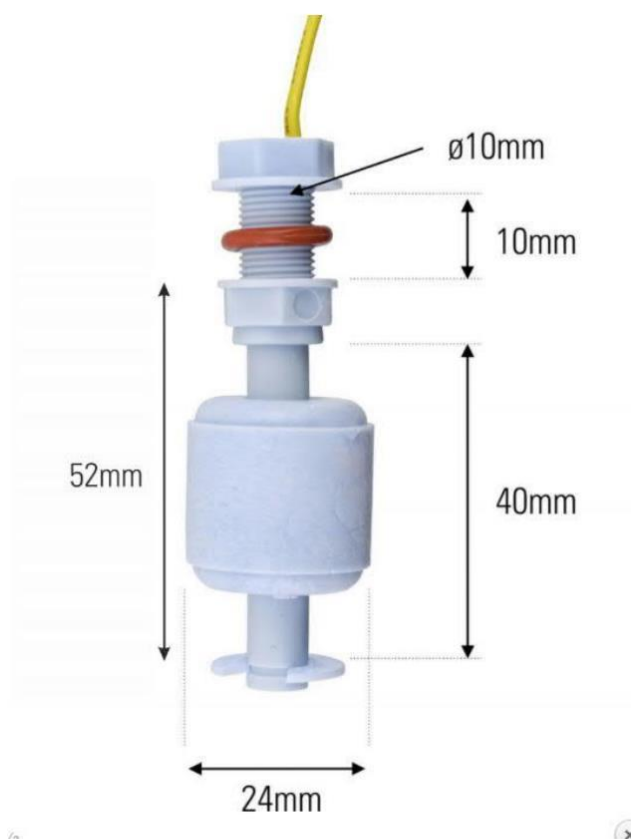
Water level switch ZP5210

PRODUCT DESCRIPTION

Compact, vertically mounted float switch that can be placed on top or bottom of the tank.
A float switch is a device used to sense the liquid level in a tank, can operate a pump, pointer, alarm, or other device. It does not contain mercury.

Specifications:

Float diameter: 24mm
Sensor length: 52mm
Type: NO
Maximum load: 50 W
Maximum Switching Voltage: 50 V DC
Maximum Switching Current: 0.5 A
Operating temperatures: -20 ~ + 80 ° C
Material: PP

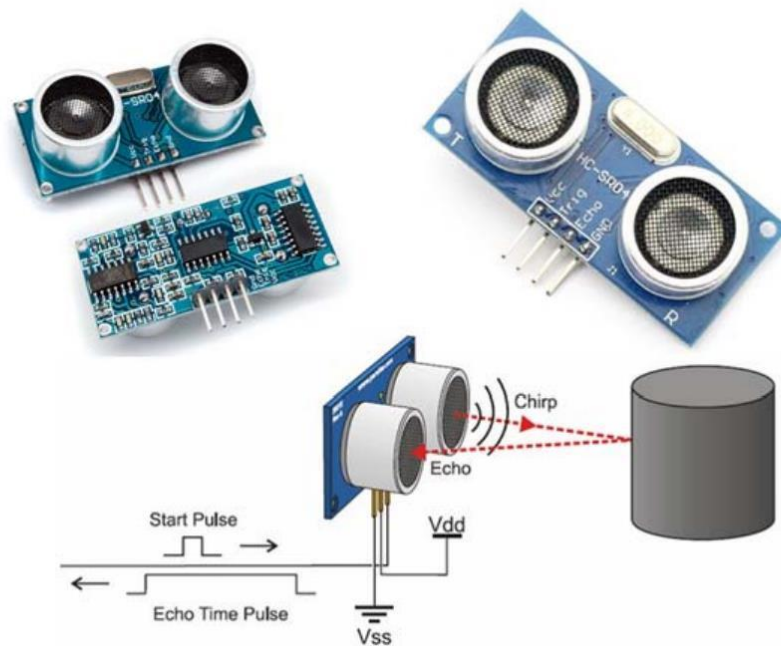




Handson Technology

User Guide

HC-SR04 Ultrasonic Sensor Module User Guide



User Guide: Ultrasonic Sensor V2.0

SKU: [MDU-1014](#)

Anexo 13: Especificaciones sensor de pH SEN0161



PH meter(SKU: SEN0161)



Analog pH Meter Kit SKU: SEN0161



Analog pH Meter Kit SKU: SEN0169

Contents

- [1 Introduction](#)
- [2 Specification](#)
- [3 Precautions](#)
- [4 pH Electrode Characteristics](#)
- [5 Usage](#)
 - [5.1 Connecting Diagram](#)
 - [5.2 Method 1. Software Calibration](#)
 - [5.3 Method 2. Hardware Calibration through potentiometer](#)
- [6 FAQ](#)

Anexo 14: Especificaciones sensor de caudal YF-S201C

ITEM: YF-S201C



Product Features:

1. The appearance of this product is light and flexible, small size, easy to install.
2. Impeller with stainless steel beads inside, always wear.
3. Seal using the upper and lower force structure will never leak.
4. Hall elements imported from Germany, and encapsulated with potting, To prevent water, never aging.
5. All raw materials are in line with ROHS testing standards

Product Description:

Water flow sensor is mainly composed of plastic body, water rotor components and Hall sensors.

It is installed in the water heater inlet, used to detect water flow, when the water flow through the rotor assembly,

The magnetic rotor rotates and the rotational speed changes with the flow rate change, the Hall sensor outputs the corresponding pulse

Signal, feedback to the controller, the controller to determine the size of water flow, regulation.

Anexo 15: Especificaciones sensor de turbidez SEN0189



Turbidity sensor SKU: SEN0189



Contents

- [1 Introduction](#)
- [2 Specification](#)
- [3 Connection Diagram](#)
- [4 Examples](#)

Introduction

The turbidity sensor detects water quality by measuring the levels of turbidity. It uses light to detect suspended particles in water by measuring the light transmittance and scattering rate, which changes with the amount of total suspended solids (TSS) in water. As the TSS increases, the liquid turbidity level increases.

Turbidity sensors are used to measure water quality in rivers and streams, wastewater and effluent measurements, control instrumentation for settling ponds, sediment transport research and laboratory measurements.

This sensor provides analog and digital signal output modes. The threshold is adjustable when in digital signal mode. You can select the mode according to your MCU.

Anexo 16: Especificaciones sensor de temperatura DS18B20

DS18B20 Temperature Sensor **GAIMC**

GTS200



DESCRIPTION ///

The probe adopts the new original imported DS18B20 temperature sensor chip. Each pin of the chip is separated by heat-shrinkable tube to prevent short circuit, internal sealing, waterproof and moisture proof. The high quality stainless steel tube package is waterproof, moisture proof and rust proof. The DS18B20 digital temperature sensor from Dallas Semiconductor of the United States is encapsulated with a highly thermally conductive sealant to ensure high sensitivity of the temperature sensor and minimal temperature delay. The temperature sensor supports a "one-wire bus" interface (1-Wire) with a temperature range of -55°C to +125°C and an accuracy of $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ in the range of -10 to +85°C. The on-site temperature is directly transmitted in the digital way of "one-line bus", which greatly improves the anti-interference of the system. Suitable for on-site temperature measurement in harsh environments. The DS18B20 digital temperature sensor has a unique number, and the temperature acquisition device identifies the corresponding temperature sensor by number .

FEATURES ///

- Power supply range: 3.0V to 5.5V
- Operating temperature range: -55 ° C to + 125 ° C (-67 ° F to + 257 ° F)
- Storage temperature range: -55°C to + 125°C (-67F to + 257F)
- Accuracy in the range of -10 ° C to + 85 ° C: $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$
- Waterproof stainless steel sheath
- Sheath size: 6 * 50mm or custom

APPLICATION ///

DS18B20 temperature sensor is mainly used in refrigerator temperature monitoring, pharmaceutical factory GMP monitoring system, telecommunication room monitoring, beer production, building automation, warehouse temperature monitoring, environmental monitoring, process temperature monitoring, air conditioning monitoring, incubation temperature control, aquaculture temperature measurement, greenhouse temperature monitoring.

Xi 'an Gavin Electronic Technology Co., Ltd

T : +86 029-81292510

E : info@gaimc.com

W : www.gaimc.com

Anexo 17: Especificaciones sensor de conductividad SEN0101



Gravity: Analog Electrical Conductivity Sensor / Meter(K=10)

SKU:DFR0300-H

INTRODUCTION

DFRobot Gravity: analog electrical conductivity sensor/meter(K=10) is particularly used to measure the high electrical conductivity liquid, such as seawater, concentrated brine, etc. The measurement range is up to 100ms/cm. This product is suitable for the water quality application of mariculture, for example, marine fisheries, marine aquariums.

It supports 3~5v wide voltage input, and is compatible with 5V and 3.3V main control board, such as Arduino and Raspberry Pi. The excitation source adopts AC signal, which effectively reduces the polarization effect, improves the precision and prolongs the life of the probe; The software library uses single-point calibration method, and can automatically identify standard buffer solution, so simple and convenient.

With this product, main control board (such as Arduino) and the software library, you can quickly build an electrical conductivity meter, plug and play, no soldering required, which providing a set of plug-and-play conductivity measurement solution for makers.

Anexo 18: Especificaciones electroválvula AQT15S





Aqua Tech Trading Corp. Ltd, located in Chongqing, China, which is focused on developing, manufacturing and distributing water valves and associated water used equipments.

We are a rapidly expanding company perceived as a growing force in the area of fluid control, we attribute our success to extensive product knowledge, our understanding of and responsiveness to market requirements and the value we place on excellent customer service.

Aqua Valves have been widely used in agriculture, water supply, water control and water purification industries.

The following products are our solenoid valves.

			
Model No.	AQT15S	Model No.	AQT15SC
Thread Size	1/2" BSP inlet and outlet	Thread Size	1/2" BSP inlet and outlet
Material	PET	Material	PET
Working Temp	0-40℃	Working Temp	0-40℃
Working Pressure	0.02~0.8MPa	Working Pressure	0.02~0.8MPa
Voltage	DC12V,DC24V,AC220V	Voltage	AC/DC 6/9/12/24/36/110/220V
Voltage Range	15%	Voltage Range	15%
Style	Closed Valve	Style	Closed Valve
Working Environment	Water, Gas and Oil	Working Environment	Water, Gas and Oil
Lifespan	More than 200,000 times	Lifespan	More than 200,000 times
Certification	CQC/CE	Certification	CQC/CE
Usage:			
Suit for many kinds of washing machine, drinking water machine, sanitary equipment, water heater, etc. Our products have passed CQC and CE. And it meets the requirement of WEEE and RoHS.			

Anexo 19: Especificaciones de la bomba peristáltica KPHM100



KPHM100 series

Mini Peristaltic Pump



Features

- Suitable for the transfer of viscous and non-viscous liquids
- Ultra-small size, compact structure, light weight
- A variety of pump motors are available
- Plastic gear transmission, high reliability and low noise

Applications

- Stool analysis and processing system
- Vaginal secretion analyzer
- Chemiluminescence detection platform
- Hydroponic nutrient dosing



CE RoHS

Code Description

		KPHM100- HA - B 10										
Motor	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="background-color: #0070C0; color: white; padding: 2px;">HA</td><td>24V DC brushed motor (current 0.3A)</td></tr> <tr><td style="background-color: #0070C0; color: white; padding: 2px;">HB</td><td>12V DC brushed motor (current 0.5A)</td></tr> <tr><td style="background-color: #0070C0; color: white; padding: 2px;">HD</td><td>24V DC brushless motor (current 0.3A)</td></tr> <tr><td style="background-color: #0070C0; color: white; padding: 2px;">HE</td><td>12V DC brushless motor (current 0.5A)</td></tr> <tr><td style="background-color: #0070C0; color: white; padding: 2px;">ST</td><td>24V DC stepper motor (current 1A)</td></tr> </table>	HA	24V DC brushed motor (current 0.3A)	HB	12V DC brushed motor (current 0.5A)	HD	24V DC brushless motor (current 0.3A)	HE	12V DC brushless motor (current 0.5A)	ST	24V DC stepper motor (current 1A)	
HA	24V DC brushed motor (current 0.3A)											
HB	12V DC brushed motor (current 0.5A)											
HD	24V DC brushless motor (current 0.3A)											
HE	12V DC brushless motor (current 0.5A)											
ST	24V DC stepper motor (current 1A)											
Tubing Material	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="background-color: #0070C0; color: white; padding: 2px;">B</td><td>PharMed® BPT tubing</td></tr> </table>	B	PharMed® BPT tubing									
B	PharMed® BPT tubing											
Tubing Size (ID x OD)	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="background-color: #0070C0; color: white; padding: 2px;">10</td><td>3mm x 5mm</td></tr> </table>	10	3mm x 5mm									
10	3mm x 5mm											

Pump Tubing

Code	Tubing Material	Performance	Lifetime
B	PharMed® BPT tubing	<ul style="list-style-type: none"> Great resistant to general chemicals, acid, alkali and oxidizing agents Compatible with virtually all commercial cleaners and sanitizers 	≥1000H

Note: The above test data is measured when the pump head rotates at 420 rpm for continuous and uninterrupted operation, and the room temperature is 20 °C pure water without pressure until the pump tube cracks. Different pump head speeds have different pump tube life. In general, the slower the pump head speed, the longer the pump tube life. The actual service life is affected by factors such as medium, working conditions, temperature, humidity, and voltage. The test data is used as a reference.

Anexo 20: Especificaciones cámara IP EZVIZ C3W PRO



EZVIZ

C3W Pro (4MP)

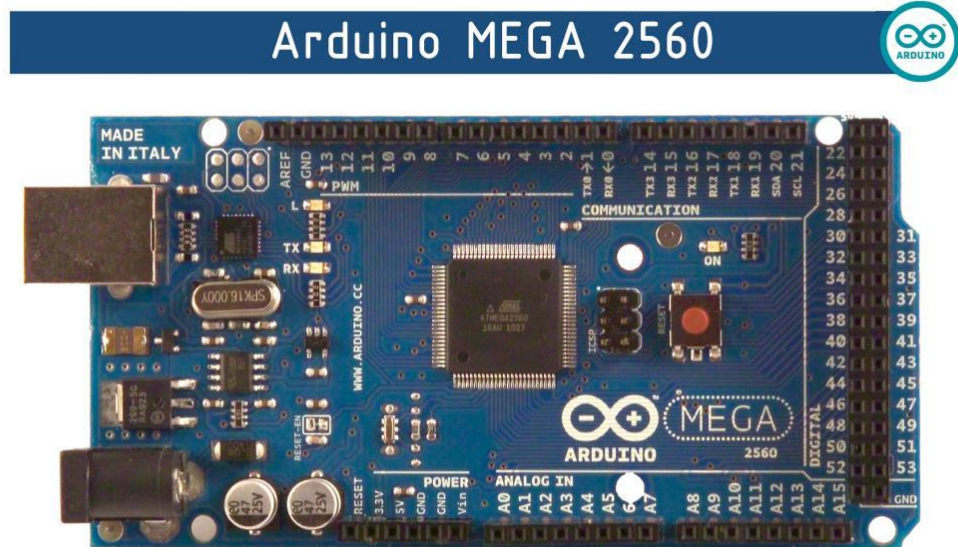
Smart Home Camera

Color night vision camera.

The C3W Pro, the upgraded color night vision camera from EZVIZ, is embedded with an AI algorithm to provide the person detection and more precise alerts even in darkness. You can also have two-way conversations with your family or visitors wherever you are using the EZVIZ App on your mobile phone. Peace of mind, always at your fingertips.

- 4MP** 4MP Streaming
- AI-Powered Person Detection
- IP67 Dust and Water Protection
- Color Night Vision
- Customizable Voice Alerts
- Supports MicroSD Card (up to 256 GB)
- H.265** H.265 Video Compression
- Two-Way Talk

Anexo 21: Especificaciones de la placa Arduino Mega 2560



Product Overview

The Arduino Mega 2560 is a microcontroller board based on the ATmega2560 ([datasheet](#)). It has 54 digital input/output pins (of which 14 can be used as PWM outputs), 16 analog inputs, 4 UARTs (hardware serial ports), a 16 MHz crystal oscillator, a USB connection, a power jack, an ICSP header, and a reset button. It contains everything needed to support the microcontroller; simply connect it to a computer with a USB cable or power it with a AC-to-DC adapter or battery to get started. The Mega is compatible with most shields designed for the Arduino Duemilanove or Diecimila.

Index

Technical Specifications	Page 2
How to use Arduino Programming Environment, Basic Tutorials	Page 6
Terms & Conditions	Page 7
Environmental Policies half sqm of green via Impatto Zero®	Page 7



radiospares

RADIONICS




Anexo 22: Especificaciones de la placa NodeMcu ESP8266



Anexo 23: Especificaciones del medidor de cloro libre “HANNA INSTRUMENTS”

Consejos para una medición exacta

- Es importante que la muestra no contenga neblina.
- Siempre que la celda se coloque en el depósito para su medición, debe estar seca por fuera, completamente libre de huellas digitales, aceite y suciedad. Limpie la celda profundamente con el HI731318 o con un paño libre de pelusas antes de la medición.
- Cuando se agita la celda se pueden generar burbujas, provocando lecturas más altas. Para obtener lecturas exactas, retire las burbujas agitando, o golpee ligeramente la celda.
- No deje la muestra reaccionada en la celda por mucho tiempo, ya que la exactitud se verá afectada.
- Después de la lectura es importante desecar inmediatamente la muestra, de otro, manera el vidrio puede mancharse permanentemente.



Recomendaciones a los usuarios

Antes de utilizar este producto, asegúrese de que sea completamente compatible con su aplicación en específico y para las condiciones ambientales en las que se usa.

La operación del instrumento puede provocar interferencias inapropiadas a otros equipos electrónicos, requiriendo así que el operador tome todos los medidas necesarias para corregir las interferencias. Cualquier variación introducida por el usuario el instrumento puede degradar su desempeño EMC. Para evitar daños o quemaduras, no coloque el instrumento en el microondas. Para la seguridad de usted y su instrumento no use o almacene en condiciones ambientales adversas.


Manejo de la batería

Para guardar batería, el instrumento se apaga después de 10 minutos de inactividad. Una batería nueva dura por lo menos 5000 mediciones. Cuando la batería se agota el instrumento muestra el mensaje "bAt" seguido de "bAt" durante un segundo y después se apaga.

Para reiniciar el medidor, la batería debe reemplazarse por una nueva.

Para reemplazar la batería:

- Apague el instrumento manteniendo presionado el botón.
- Ponga el instrumento al revés y retire la cubierta de la batería con el desarmador.



- Quite la batería de su lugar y reemplázela con una nueva, colocando el lado negativo primero.
- Coloque la cubierta de la batería y vuelva a colocar el tornillo con el desarmador.

Accesorios

Conjunto de reactivos

HI701-25	Conjunto de reactivos para 25 pruebas de cloro libre
----------	--

Otros accesorios


HI701-11	Conjunto de estándares certificados de cloro libre
HI731225	Tapón negro para celda de Checker RC (4 piezas)
HI731318	Paño para limpiar las celdas (4 piezas)
HI731321	Celdas de vidrio con tapón (4 piezas)
HI740028P	Batería de 1.5 V (12 piezas)
HI93763-50	Solución de limpieza para celdas (230 mL)


Garantía

El HI701 está garantizado por un periodo de 6 meses después de la fecha de compra contra defectos de fabricación y materiales cuando se utiliza con el propósito para el que fue diseñado. Esta garantía está limitada al reemplazo o reparación libre de costo. Los daños provocados por accidentes, mal uso o falta del mantenimiento prescrito no están cubiertos por la garantía. Si se encuentra bajo garantía, reporte el modelo, fecha de compra, número de serie y la naturaleza del problema. Si el dato no es cubierto por la garantía, se le notificará el costo de la reparación.

MANUAL DE INSTRUCCIONES






HI701
Cloro libre





222

Anexo 24: Toma de muestras de cloro residual

	<p>Pruebas recolectadas de cloro residual mediante el uso del medidor “FREE CHLORINE”, marca Hanna instruments.</p>
	<p>Colocación de reactivo para medición de cloro residual en muestra de agua cruda ”Calibración de medidor”.</p>
	<p>Prueba día “Martes 3 de Enero”, con resultado de cloro residual de 1.02 ppm, resultante del procesado en base a la temperatura de 18.13 °C.</p>
	<p>Prueba día “Miércoles 4 de Enero”, con resultado de cloro residual de 1.02 ppm, resultante del procesado en base a la temperatura de 16.32 °C.</p>
	<p>Prueba día “Viernes 6 de Enero”, con resultado de cloro residual de 1.02 ppm, resultante del procesado en base a la temperatura de 9.02 °C.</p>



Prueba día “Lunes 9 de Enero”, con resultado de cloro residual de 1.02 ppm, resultante del procesado en base a la temperatura de 11.92 °C.

Anexo 25: Cálculos para obtener la solución madre actual

$$\text{Concentración Solución Madre} = \frac{\text{Peso} * \% \text{ Cloro} * 10}{\text{Litros}}$$

$$\text{Concentración Solución Madre} = \frac{4540 * 68 * 10}{500} = 6174,4 \text{ ppm}$$

Considerando el valor de cloro residual recogido de forma matutina de 0,8 mg/litro, podemos definir parámetros para obtener la dosis necesaria aplicada mediante cloración por goteo

Peso Hipoclorito Necesitado: 4540 gr

Peso Hipoclorito En Kilos 4,54 kg

Peso Asumido en la solución. 4500 gr

$$\text{Concentración} = \frac{\% \text{ Cloro} * \text{Peso} * 10}{\text{Litros}}$$

$$\text{Concentración} = \frac{68\% * 4500 \text{ gr} * 10}{500 \text{ litros}}$$

$$\text{Concentración} = 6120 \text{ ppm}$$

$$\text{Concentración} = 0.612\%$$

$$\text{Cloro Neto} \frac{\text{gr}}{\text{seg}} = \frac{\text{Caudal} \left(\frac{\text{Lts}}{\text{seg}} \right) * \text{Concentración deseada} \left(\frac{\text{mg}}{\text{litro}} \right)}{1000}$$

$$\text{Cloro Neto} \frac{\text{gr}}{\text{seg}} = \frac{61,8 \left(\frac{\text{Lts}}{\text{seg}} \right) * 0,8 \text{ (mg/litro)}}{1000} = 0,0494 \text{ gr/seg}$$

Cantidad cloro neto/seg= 0,0494 gr/seg

$$\text{Hipoclorito} \left(\frac{\text{gr}}{\text{seg}} \right) = \frac{\text{Cloro neto} \left(\frac{\text{gr}}{\text{seg}} \right) * 100}{\% \text{Cloro}}$$

$$\text{Hipoclorito} \left(\frac{\text{gr}}{\text{seg}} \right) = \frac{0,0618 * 100}{68\%} = 0,0727 \text{ gr/seg}$$

Cantidad hipoclorito/seg= 0,0727 gr/seg

Tiempo de duración de la solución

$$\text{Tiempo de duración(días)} = \frac{\text{Nueva Concentración Tanque (mg)/(litro)}}{\text{Tiempo clorado por día seg * Cloro neto (gr)/(seg)}}$$

$$\text{Tiempo de duración(días)} = \frac{6120 \text{ (mg/L)}}{86400 \text{ (seg)} * 0,0727 \text{ (gr/seg)}}$$

$$\text{Tiempo de duración(días)} = 1,43$$

$$\text{Tiempo de duración(días)} = 34 \text{ horas con } 24 \text{ minutos}$$

$$\text{Dosis Solución} \frac{\text{ml}}{\text{min}} = \frac{\text{Volumen Tanque (lts)} * 60000}{\text{Tiempo Duración Días (días)} * \text{Tiempo clorado por Día(seg)}}$$

$$\text{Dosis Solución} \frac{\text{ml}}{\text{min}} = \frac{500 \text{ (lts)} * 60000}{1,43 * 86400 \text{ (seg)}}$$

$$\text{Dosis Solución} \frac{\text{ml}}{\text{min}} = 242,35 \text{ ml/min}$$

$$\text{Dosis Solución} \frac{\text{gotas}}{\text{min}} = \text{Dosis solución} \frac{\text{ml}}{\text{min}} * 20$$

$$\text{Dosis Solución} \frac{\text{gotas}}{\text{min}} = 242,35 \frac{\text{ml}}{\text{min}} * 20$$

$$\text{Dosis Solución} \frac{\text{gotas}}{\text{min}} = 4847 \text{ gotas/min}$$



FACULTAD DE INGENIERÍA EN
SISTEMAS, ELECTRÓNICA E INDUSTRIAL



SALCEDO
GOBIERNO AUTÓNOMO DESCENTRALIZADO

Manual de uso

SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO Y CONTROL PARA LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE “EL CARRIZALSALCEDO” BASADO EN IOT E INTELIGENCIA ARTIFICIAL

Dirección de alcantarillado y agua potable del cantón Salcedo.



Elaborado por:

Saul Contreras

Xavier Contreras



Introducción

¡Bienvenido al manual de usuario del Sistema Inteligente de Monitoreo y Control para la Planta de Tratamiento de Agua Potable “El Carrizal Salcedo” basado en IoT e Inteligencia Artificial!

Este manual está diseñado para guiarlo a través de las diferentes funcionalidades del aplicativo web y ayudarlo a utilizar el sistema de monitoreo y control de manera efectiva. El objetivo de este sistema es proporcionar una visión detallada y en tiempo real del estado de la planta de tratamiento de agua potable y permitirle controlar y monitorear los diferentes procesos de manera eficiente.

A lo largo de este manual, encontrará una descripción detallada de cada sección del aplicativo web, incluyendo información sobre cómo registrarse e iniciar sesión, la interfaz de usuario y cómo utilizar las diferentes funcionalidades del sistema de monitoreo y control. ¡Comencemos!

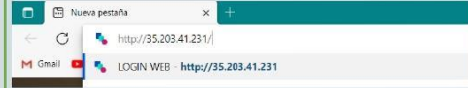


Ingreso al servidor en línea

El aplicativo web se aloja en un servidor en línea, para proporcionar al usuario el ingreso de forma remota al aplicativo de monitorización y control.

En un navegador web de preferencia “Microsoft Edge”, ingrese a la barra de dirección y digite la siguiente dirección pública del servidor:

<http://35.203.41.231/>



Autenticación

El panel de control de la planta “Carrizal” considera su acceso restringido a cualquier usuario no autorizado dentro de la base de datos de usuario, por lo cual es importante comunicarse con el encargado del servidor para realizar su correspondiente registro.

Con las credenciales entregadas a cada usuario se inicia sesión en el aplicativo web ingresando su nombre de usuario y contraseña en cada campo proporcionado en la página principal.



INGRESO AL PANEL DE CONTROL

Administrador 1 Administrador 2

Username

Recordar

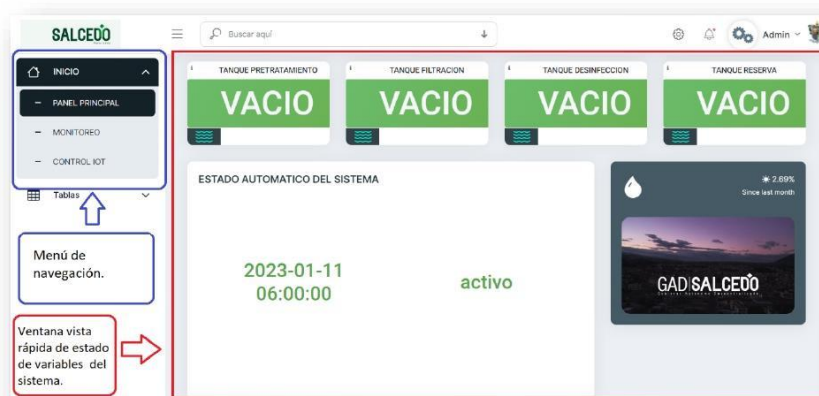
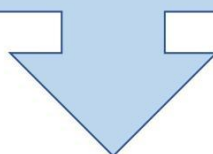
Ingresar



Interfaz de usuario:

La interfaz de usuario del aplicativo web está diseñada para ser fácil de usar y proporcionar una vista general de la planta de tratamiento de agua potable.

En su página principal cuenta con un resumen de las variables monitorizadas, así como el estado de operatividad del sistema. Para una navegación más rápida el apartado izquierdo cuenta con dos menús desplegables para la navegación de las diferentes secciones que ofrece el aplicativo web para la operación de la planta de tratamiento de agua, a continuación, se muestra una la página de inicio con cada componente descrito anteriormente.





Las funciones y el uso, que otorga la sección de cada menú se describen a continuación:

Monitoreo de parámetros: en esta sección, se muestran las diferentes variables (temperatura, caudal, turbidez, conductancia y pH), que intervienen en el suministro de agua de la planta, también cuenta con un apartado para la visualización del video en vivo de una cámara ip instalada en la planta. Los datos recolectados se muestran en tiempo real y se pueden visualizar en gráficos.



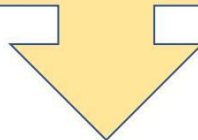
El apartado de monitorización adicional cuenta con tres secciones que se enfoca al estado de operación de los subsistemas de operación de control y estado de dosificación para consultar de forma más detallada el estado del sistema.



El estado de operación tiene dos modos que puede visualizar para conocer el comportamiento del sistema.



Debido a que las variables son elementos que influyen de manera directa en la calidad de agua, estas se deben monitorizar en función del tiempo y ver el comportamiento para considerar los procesos necesarios que requieran para poder cumplir con las normas de calidad de agua potable. A continuación, se muestra el apartado donde se clasifica la información relevante de cada variable en periodos semanales.





SECCION DE CONTROL



Panel de control: en esta sección se enfoca en la manipulación de : modo de operación, control de tanques y control de dosificación. Las mismas que para una mayor supervisión de los procesos que se ejecutan, cuentan con una sección de “log”, donde se plasman los comandos enviados mediante el protocolo “MQTT”.

Modo de operación

El control de modo de operación cuenta con un botón al lado inferior izquierdo para desplegar una pantalla modal donde se encuentra un menú con un selector de estados intuitivo para controlar el estado de: modo de operación y la selección de datos a visualizar en la pantalla de la unidad de control (módulo lcd).





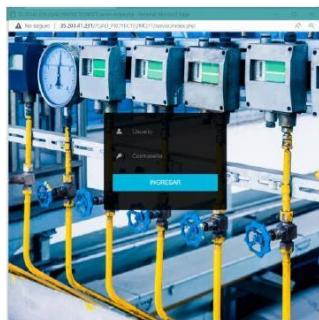
Tomar en cuenta en el control del LCD, que para que se imprima un panel se debe apagar el segundo, y viceversa en el caso de requerir la visualización de los actuadores.



Para el control de electroválvulas y bombas siguen la misma tendencia de control, constando así con información del estado actual, control de modo manual y modo automático.



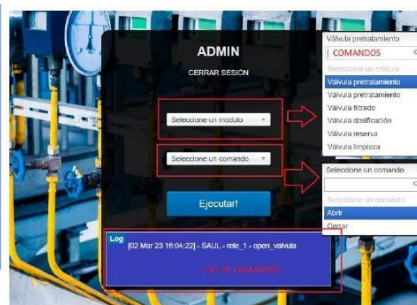
En la sección de control de válvulas y bombas, se debe logearse con las credenciales una segunda vez debido a prohibición de manipulación por personas ajenas, de estos actuadores que intervienen en todos los procesos que conforman la potabilización.



¡Nota! Las credenciales son las mismas que se utilizan para ingresar al menú principal. Es necesario logearse en cada ventana, en caso de no hacerlo o tener la ventana en inactividad por mas de 5 minutos esta se actualiza solicitando nuevamente la autenticación con las credenciales.

USO

En la pantalla principal se encuentra un apartado para la selección del actuador, comando a enviar, un botón para ejecutar el comando y una sección de log donde nos muestra los últimos comandos enviados.



El sistema está programado para realizar un máximo de 5 envíos de comandos cada 5 minutos.



De igual manera para el control de dosificación cuenta con las mismas opciones para visualizar el estado de los tanques, bombas y modo de operación manual y automático .

CONTROL DE DOSIFICACION

ESTADO DE TANQUES DOSIFICACION

ESTADO	NIVEL DE CLORO/TANQUE DE DESINFECCION
Dosificación (t)	
>	2023-01-03 06:05:00 activo
>	2023-01-03 06:00:00 activo
>	2023-01-03 05:50:00 activo
>	2023-01-03 05:40:00 activo
>	2023-01-03 05:30:00 activo
>	2023-01-03 05:20:00 activo
>	2023-01-03 05:10:00 activo
>	2023-01-03 05:00:00 activo

[log de estado de dosificación](#)

ESTADO DE BOMBAS

ESTADO: **MODO MANUAL** MODO AUTOMATICO Control de modo

ESTADO DE BOMBAS

BOMBA_CLORO **on**

BOMBA_AGUA **off**

Para el control de bombas los comandos cambian siendo así prender y apagar las acciones que se envíe mediante mqtt al microcontrolador el mismo que actuará en base al requerimiento del administrador.

ADMIN

CERRAR SESIÓN

Seleccione una bomba

Seleccione una acción(...)

Ejecutar!

Log

[02 Mar 23 16:04:22] - SAUL - rele_1 - open_valvula

log de control

Seleccione una bomba

Comandos

Seleccione una bomba

Bomba de agua

Bomba de cloro

Seleccione una acción(...)

Seleccione una acción(bombas)

Prender

Apagar



Generación de reportes

Debido a la necesidad de generar reportes diarios del estado de sensorización, dosificación y estado de control del sistema, se desplaza hasta el apartado de reportes dentro del menú de sensorización donde contamos con los datos tabulados y clasificados en tres secciones, las mismas que nos ofrece la opción de descarga en formato csv para uso del administrador,

BASE DE DATOS
Inicio > Tabla sensores > Tabla dosificación > Tabla MQTT Clasificación de tablas(sensores,dosificación y tabla mqt.

BASE DE DATOS SENSORES

ID	TEMPERATURA	TURBIDEZ	CAUDAL	PH	CONDUCTANCIA	TANQUE PRETRATAMIENTO	TANQUE FILTRACION	TANQUE DESINFECCION	TANQUE RESERVA
17448	10.8	0.528	8.524	6.87	339.857	vacio	vacio	vacio	vacio
17449	11.1	0.38	8.608	6.84	339.298	lleno	vacio	vacio	vacio
17450	11.4	0.514	8.505	6.86	332.702	lleno	vacio	vacio	vacio
17451	11.8	0.366	8.803	6.87	338.749	lleno	vacio	vacio	vacio
17452	12.2	0.458	8.665	6.83	334.369	lleno	vacio	vacio	vacio
17453	12.7	0.411	8.343	6.84	330.072	lleno	vacio	vacio	vacio
17454	12.9	0.508	8.731	6.87	330.131	lleno	vacio	vacio	vacio
		0.318	8.473	6.84	337.467	lleno	vacio	vacio	vacio

Es importante generar los reportes filtrados por líneas de tiempo lo que se puede filtrar mediante la opción señalada con rojo en la siguiente ilustración.

"EL CARRIZAL"

REPORTE DE SENSORIZACION "EL CARRIZAL"

SALCEDO
GOBIERNO AUTÓNOMO DESCENTRALIZADO

Filtrado línea de tiempo y descarga de reporte de sensorización.


dd/mm/aaaa dd/mm/aaaa

#	TEMPERATURA	TURBIDEZ	CAUDAL	PH	CONDUCTANCIA	FECHA	FECHA/HORA
1	10.8	0.528	8.524	6.87	339.857	2022-11-21	2022-11-21 02:00:00
2	11.1	0.38	8.608	6.84	339.298	2022-11-21	2022-11-21 02:10:00
3	11.4	0.514	8.505	6.86	332.702	2022-11-21	2022-11-21 02:20:00
4	11.8	0.366	8.803	6.87	338.749	2022-11-21	2022-11-21 02:30:00
5	12.2	0.458	8.665	6.83	334.369	2022-11-21	2022-11-21 02:40:00
6	12.7	0.411	8.343	6.84	330.072	2022-11-21	2022-11-21 02:50:00



Cuando se tenga filtrado la línea de tiempo se puede descargar el reporte en formato pdf el mismo que será de gran utilidad para el administrador de la planta para analizar la calidad de agua que se suministra a la población del cantón Salcedo.

Encargado: **Administrador**
Planta potabilizadora: **"EL CARRIZAL"**

 **SALCEDO**
GOBIERNO AUTÓNOMO DESCENTRALIZADO

Código: 0014ABC
Fecha: 02-03-2023
Hora: 08:29 PM

REPORTE CAPTURA SENSORES

TEMPERATURA	TURBIDEZ	CAUDAL	PH	Fecha Ingreso
10.8 °C	0.528 NTU	8.524 l/m	6.87	11-21-2022
11.1 °C	0.38 NTU	8.608 l/m	6.84	11-21-2022
11.4 °C	0.514 NTU	8.505 l/m	6.86	11-21-2022
11.8 °C	0.386 NTU	8.803 l/m	6.87	11-21-2022
12.2 °C	0.458 NTU	8.665 l/m	6.83	11-21-2022
12.7 °C	0.411 NTU	8.343 l/m	6.84	11-21-2022
12.9 °C	0.508 NTU	8.731 l/m	6.87	11-21-2022
13.2 °C	0.318 NTU	8.473 l/m	6.84	11-21-2022
13.5 °C	0.412 NTU	8.676 l/m	6.86	11-21-2022
13.8 °C	0.334 NTU	8.874 l/m	6.86	11-21-2022
14.2 °C	0.416 NTU	8.459 l/m	6.88	11-21-2022
14.4 °C	0.344 NTU	8.486 l/m	6.86	11-21-2022
14.8 °C	0.514 NTU	8.633 l/m	6.86	11-21-2022
15.1 °C	0.515 NTU	8.293 l/m	6.88	11-21-2022
15.3 °C	0.557 NTU	8.315 l/m	6.80	11-21-2022
15.6 °C	0.48 NTU	8.453 l/m	6.85	11-21-2022
15.8 °C	0.527 NTU	8.285 l/m	6.88	11-21-2022