



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA EN SISTEMAS ELECTRÓNICA
E INDUSTRIAL
CARRERA DE INGENIERIA EN ELECTRONICA Y COMUNICACIONES

TEMA:

SISTEMA DE CLORACIÓN AUTOMÁTICO PARA LA JUNTA ADMINISTRADORA DE
AGUA POTABLE REGIONAL ORIENTAL MULALÓ-JOSEGUANGO BAJO-ALÁQUEZ

Trabajo de Titulación Modalidad: Proyecto de Investigación, presentado previo la obtención
del título de Ingeniero en Electrónica y Comunicaciones.

LINEA DE INVESTIGACIÓN: Tecnologías de la información y sistemas de control

AUTOR: Diego David Benítez Lescano

TUTOR: Ing. Marco Jurado Lozada

Ambato - Ecuador

Febrero 2021

APROBACIÓN DEL TUTOR

En calidad de tutor del Trabajo de Titulación con el tema: “SISTEMA DE CLORACIÓN AUTOMÁTICO PARA LA JUNTA ADMINISTRADORA DE AGUA POTABLE REGIONAL ORIENTAL MULALÓ-JOSEGUANGO BAJO-ALÁQUEZ”, desarrollado bajo la modalidad proyecto de investigación por el señor , Diego David Benitez Lescano, estudiante de la Carrera de Ingeniería en Electrónica y Comunicaciones, de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial, de la Universidad Técnica de Ambato, me permito indicar que el estudiante ha sido tutorado durante todo el desarrollo del trabajo hasta su conclusión, de acuerdo a lo dispuesto en el Artículo 15 del Reglamento para obtener el Título de Tercer Nivel, de Grado de la Universidad Técnica de Ambato, y el numeral 7.4 del respectivo instructivo.

Ambato, febrero 2021

Ing. Marco Jurado Lozada Mg.

TUTOR

AUTORÍA

El presente Proyecto de Investigación titulado: SISTEMA DE CLORACIÓN AUTOMÁTICO PARA LA JUNTA ADMINISTRADORA DE AGUA POTABLE REGIONAL ORIENTAL MULALÓ-JOSEGUANGO BAJO-ALÁQUEZ, es absolutamente original, auténtico y personal. En tal virtud, el contenido, efectos legales y académicos que se desprenden del mismo son de exclusiva responsabilidad del autor.

Ambato, febrero 2021



Diego David Benitez Lescano

CC:0503622656

AUTOR

APROBACIÓN TRIBUNAL DE GRADO

En calidad de par calificador del Informe Final del Trabajo de Titulación presentado por el señor Diego David Benitez Lescano estudiante de la Carrera de Ingeniería en Electrónica y Comunicaciones, de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial, bajo la Modalidad Proyecto de Investigación, titulado, SISTEMA DE CLORACIÓN AUTOMÁTICO PARA LA JUNTA ADMINISTRADORA DE AGUA POTABLE REGIONAL ORIENTAL MULALÓ-JOSEGUANGO BAJO-ALÁQUEZ, nos permitimos informar que el trabajo ha sido revisado y calificado de acuerdo al Artículo 17 del Reglamento para obtener el Título de Tercer Nivel, de Grado de la Universidad Técnica de Ambato, y al numeral 7.6 del respectivo instructivo. Para cuya constancia suscribimos, conjuntamente con la señora presidenta del Tribunal.

Ing. Pilar Urrutia Mg.

PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

Ing. Geovanni Brito Mg.

DOCENTE CALIFICADOR

Ing. Julio Cuji, Mg.

DOCENTE CALIFICADOR

DERECHOS DE AUTOR

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

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

Ambato, febrero 2021



Diego David Benitez Lescano

CC:0503622656

AUTOR

DEDICATORIA

El esfuerzo del presente trabajo es dedicado a mis padres y hermanos, por su apoyo incondicional, no solo en la carrera universitaria si no a lo largo de cada etapa de la formación académica, la verdadera felicidad se encuentra en la familia.

Dedico este trabajo a cada uno de mis profesores, amigos, compañeros que con cada uno de sus aportes he logrado culminar uno de mis objetivos.

Diego Benitez Lescano

AGRADECIMIENTO

El agradecimiento es inmenso a Dios por la familia tan amorosa que me ha dado, como no agradecer a los pilares fundamentales 'mis padres', que día a día han dado todo por sus hijos y que lo seguirán haciendo.

Agradecer a todos quienes conforman y han conformado la Facultad de Ingeniería en Electrónica y Comunicaciones, desde la autoridad máxima hasta los señores conserjes por mantener siempre en alto el nombre de mi Facultad.

De la misma manera agradezco a mis profesores por su paciencia y generosidad de brindar su conocimiento, experiencias, anécdotas en cada una de sus clases.

Diego Benitez Lescano

TABLA DE CONTENIDO

APROBACIÓN DEL TUTOR.....	I
AUTORÍA DEL TRABAJO	II
APROBACIÓN TRIBUNAL DE GRADO.....	III
DERECHOS DE AUTOR	IV
DEDICATORIA	V
AGRADECIMIENTO	VI
RESUMEN	XII
ABSTRACT.....	XIII
CAPÍTULO 1.....	1
MARCO TEORICO.....	1
1.1 Antecedentes Investigativos.....	1
1.2 Fundamentación teórica	3
1.2.1 El agua	3
1.2.2 Desinfección del agua	5
1.2.3 Cloración del agua potable.....	8
1.2.4 Parámetros físicos del agua.....	11
1.2.5 Parámetros químicos del agua.....	12
1.2.6 Sistemas automatizados para la dosificación de cloro	14
1.2.7 Redes inalámbricas	17
1.2.8 Sistema de energía fotovoltaica	20
1.2.9 Código abierto (Open Source)	21
1.2.10 Controlador lógico programable (PLC)	22
1.2.11 Fundamentos de sistema de control	25
1.3 Objetivos	27
1.3.1 Objetivo general.....	27
1.3.2 Objetivos específicos	27
CAPITULO 2.....	28
METODOLOGÍA	28
2.1 Materiales.....	28
2.2 Métodos.....	28
2.2.1 Modalidad de la investigación.	28
2.2.2 Recolección de información.....	29
2.2.3 Procesamiento y análisis de datos	29
2.3 Desarrollo del proyecto.....	29

CAPITULO 3.....	31
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	31
3.1 Análisis y discusión de los resultados.....	31
3.2 Desarrollo de la propuesta.....	31
3.2.1 Análisis de factibilidad	32
3.2.2 Requerimientos del sistema	32
3.2.3 Diagrama de bloques del sistema.....	33
3.2.4 Situación actual de desinfección	33
3.2.5 Diseño del sistema de dosificación.....	34
3.2.5.1 Análisis de equipos	34
3.2.5.2 Cálculos de diseño	48
3.2.5.3 Fase de adquisición de datos.....	53
3.2.5.4 Fase de actuadores	58
3.2.5.5 Diseño del sistema de control	60
3.2.6 Implementación del sistema de dosificación.....	62
3.2.7 Pruebas de funcionamiento	70
3.2.8 Presupuesto	75
3.3 Resultados.....	76
3.3.1 Análisis del pH.....	78
3.3.2 Análisis del cloro residual.....	79
3.3.3 Análisis del ahorro del agua potable	79
3.3.4 Análisis del caudal de ingreso.....	80
3.3.5 Análisis del caudal de dosificación.....	81
CAPITULO 4.....	82
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	82
4.1 Conclusiones	82
4.2 Recomendaciones	83
BIBLIOGRAFÍA	84
ANEXOS	92

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Aguas Superficiales.	4
Figura 2. Aguas Superficiales.	4
Figura 3. Curva de demanda de cloro[13].	10
Figura 4. Escala representativa de pH.....	12
Figura 5. Dosis esquemática total del cloro en el agua.	14
Figura 6. Dosificador de cloro sólido.	15
Figura 7. Hipoclorador.....	16
Figura 8. Electroválvula.....	16
Figura 9. Bomba peristáltica.....	17
Figura 10. Estándares de comunicación inalámbrica utilizadas a nivel industrial [13]	19
Figura 11. Sistema de riego con autómatas.....	23
Figura 12. Sistema de control de lazo abierto.....	25
Figura 13. Sistema de control de lazo cerrado.....	26
Figura 14. Diagrama de bloques del sistema de dosificación.....	33
Figura 15. Circuito de regulación y acondicionamiento de voltaje para sensor de temperatura	54
Figura 16. Circuito de acondicionamiento para los sensores de flujo.....	55
Figura 17. Datos obtenidos del sensor de caudal.....	56
Figura 18. Diagrama de conexiones de los sensores de nivel.....	57
Figura 19. Sensor de pH tipo sonda.....	57
Figura 20. Diagrama de conexión sensor de pH.....	58
Figura 21. Circuito de activación para la electroválvula.....	59
Figura 22. Circuito control de motor de la bomba.....	59
Figura 23. Esquema de conexión control de flujo con bomba peristáltica.....	61
Figura 24. Esquema P&ID del sistema de dosificación de cloro.....	61
Figura 25. Diagrama de implementación del sistema de dosificación automático de cloro. .	62
Figura 26. Diseño esquemático de la placa electrónica del sistema de dosificación automático de cloro.	63
Figura 27. Diseño PCB del sistema de dosificación automático de cloro.	64
Figura 28. Montaje de dispositivos en la placa de control.....	64
Figura 29. Tanque principal de distribución de agua potable.....	65
Figura 30. Tubería principal de ingreso al tanque reservorio.....	65
Figura 31. Válvula solenoide 251BM.....	66
Figura 32. Instalación de la válvula solenoide.....	66
Figura 33. Sensor de nivel (1), sensor de temperatura (2), sensor PH (3).	67

Figura 34. Instalación de los sensores de nivel, pH, temperatura.	67
Figura 35. Instalación de bomba peristáltica dosificadora.	68
Figura 36. Instalación del panel fotovoltaico.	69
Figura 37. Conexiones controlador de carga.	69
Figura 38. Conexión final del sistema de cloración.	70
Figura 39. Prueba del panel solar.	71
Figura 40. Primera prueba de lectura de sensores.	71
Figura 41. Segunda prueba de lectura de sensores.	72
Figura 42. Verificación de información en dos usuarios finales.	74
Figura 43. Prueba mensaje de alerta.	74
Figura 44. Medición de cloro residual.	76
Figura 45. Valores medidos de pH.	78
Figura 46. Gráfica del nivel del agua en 7 días.	80
Figura 47. Caudal de ingreso.	81
Figura 48. Caudal de dosificación.	81

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Métodos físicos de desinfección de agua.....	7
Tabla 2: Métodos químicos de desinfección de agua	8
Tabla 3. Tipos de agua y conductividad	13
Tabla 4. Sistemas para la dosificación de cloro:	14
Tabla 5. Tecnologías utilizadas en redes inalámbricas.	20
Tabla 6. Comparación sensores de nivel.....	35
Tabla 7. Sensores de pH	36
Tabla 8. Comparativa sensores de caudal	37
Tabla 9. Comparativa sensores de caudal	38
Tabla 10. Comparativa sensores de temperatura	39
Tabla 11. Análisis de electroválvulas	40
Tabla 12. Análisis de bombas de agua.....	40
Tabla 13. Comparación de tecnologías de comunicación inalámbrica	41
Tabla 14. Comparación de tarjetas de comunicación inalámbrica.....	42
Tabla 15. Comparación de las características de PLC	43
Tabla 16. Consumo diario de los dispositivos	44
Tabla 17. Comparativa de baterías para el sistema de energía.	45
Tabla 18. Comparativa de convertidores elevadores de voltaje.....	46
Tabla 19 Análisis de paneles solares	47
Tabla 20. Comparativa de controladores de carga.....	47
Tabla 21. Cálculos y requerimientos del caudal de ingreso.....	51
Tabla 22. Muestreo del sensor YF-S401.....	60
Tabla 23. Lectura de los sensores pH, nivel, temperatura.	72
Tabla 24. Mediciones sensores de flujo.....	73
Tabla 25. Presupuesto del proyecto	75
Tabla 26. Parámetros del agua potable permisibles.....	76
Tabla 27. Muestras en campo de cloro residual.....	77
Tabla 28. Marguen de error pH.....	78
Tabla 29. Nivel de agua sin sistema de cloración.....	79
Tabla 30. Nivel de agua con sistema de cloración.....	79

RESUMEN

En el presente proyecto de investigación se analizan los principales parámetros químicos y físicos del agua específicamente para el consumo humano, a partir de los cuales se diseña un sistema que mejore la calidad del agua para los usuarios finales, considerando la ayuda de un agente químico denominado hipoclorito de calcio, que por sus propiedades permite eliminar, neutralizar y disminuir microorganismos presentes en el agua con la finalidad de obtener en mejores condiciones el líquido vital. Los límites permisibles de los parámetros que se consideran en este trabajo de investigación están ligados a normas establecidas para Ecuador.

El diseño del sistema se basa en automatizar la dosificación del hipoclorito de calcio, es decir controlar la cantidad de químico que ingresa al tanque principal por medio de una bomba peristáltica, a partir de cálculos dependiendo del número de usuarios finales. El sistema posee varios sensores que no permite el desperdicio del líquido vital, así como tampoco de la solución con hipoclorito de calcio. Además, proporciona información a los técnicos encargados del sistema de descontaminación, los niveles de pH, agua y temperatura son enviados a través de una comunicación inalámbrica GSM para que diariamente se controle la calidad del agua, finalmente para que el agua potable tenga una descontaminación permanente si se agota la solución con hipoclorito se emite un mensaje de alerta, la bomba de dosificación queda inhabilitada y se cierra el ingreso del agua no descontaminada al tanque principal mediante una electroválvula. Toda la implementación del sistema funciona mediante energía renovable que es la luz solar aprovechada por paneles solares.

Palabras clave: cloración, calidad de agua, comunicación inalámbrica

ABSTRACT

In this research project the main chemical and physical parameters of water specifically for human consumption are analyzed, from which a system is designed to improve water quality for end users, considering the help of a chemical agent called calcium hypochlorite, which due to its properties allows to eliminate, neutralize and reduce microorganisms present in the water in order to obtain the vital liquid in better conditions. The permissible limits of the parameters that are considered in this research work are linked to norms established for Ecuador.

The design of the system is based on automating the dosage of calcium hypochlorite, that is, controlling the amount of chemical that enters the main tank through a peristaltic pump, based on calculations depending on the number of end users. The system has several sensors that do not allow the waste of the vital liquid, as well as the solution with calcium hypochlorite. In addition, it provides information to the technicians in charge of the decontamination system, the pH, water and temperature levels are sent through a GSM wireless communication so that the water quality is controlled daily, finally so that the drinking water has a permanent decontamination if the hypochlorite solution is exhausted, an alert message is issued, the dosing pump is disabled and the intake of non-decontaminated water to the main tank is closed by means of a solenoid valve. The entire implementation of the system works using renewable energy that is sunlight harnessed by solar panels.

Keywords: chlorination, water quality, wireless communication

CAPÍTULO 1

MARCO TEORICO

1.1 Antecedentes Investigativos

La investigación basada en fuentes como: repositorios digitales de universidades, trabajos de investigación, artículos científicos, se hallaron los siguientes resultados:

En el año 2017, en el trabajo de grado en Ecuador con el tema “Automatización e implementación de un sistema de recolección, cloración y monitoreo de niveles de agua, cloro y oxígeno del agua potable del caserío Mollepamba” desarrollado por Pilataxi Contreras Gabriel Israel y Santos Zambrano Jonathan Javier, en el cual es evidente que el suministro de agua potable presenta varias falencias a nivel nacional, y la causa principal es la falta de control en el proceso de dosificación del cloro. En la implementación se utilizó software libre IDE Arduino y hardware libre por el cual se desarrolló un sistema automático que dosifica el cloro a la red de distribución por medio de pastillas de hipoclorito de calcio, al mismo tiempo con una red de sensores se permitió el monitoreo de variables como: el nivel de cloro y cantidad de agua existente en el tanque de almacenamiento; con la red GPRS se alertó a un operador cuando los niveles sean críticos, obtenido como resultado una dosificación correcta del hipoclorito de calcio[1].

En Perú de la tesis de grado “Diseño de un sistema automatizado de dosificación de cloro para mejorar la calidad del agua potable en el sistema de abastecimiento de la comunidad La planta-Paijan-La libertad” desarrollado por Quispe Lojano Juan José Gregorio y Torres Esparta Cristian Jesús, en el cual explica los parámetros técnicos del mecanismo de desinfección del agua con cloro y a su vez los compuestos de cloro más utilizados para la desinfección, se realiza la dosificación mediante un sistema automático de cloro gaseoso con equipos catalogados para automatizar el sistema, es decir software y hardware de pago como lo es el analizador de cloro libre (Water Quality Analyzer WG_602), mediante el cual se obtiene parámetros: cloro libre, pH y temperatura ;con estos equipos lo que conlleva es a cumplir las normas y estándares de la calidad de agua para el consumo humano. Cabe considerar, por otra parte, que el

cloro puede estar en diferentes formas, el sistema de dosificación depende de la cantidad de agua a ser clorada, la presentación del insumo cloro y el presupuesto que se desea invertir en el sistema[2].

El análisis del artículo científico “Implementación de un sistema de control y monitoreo de cloración de agua en forma remota mediante tecnología zigbee para la planta de potabilización “El calzado” de la EMPAPAL”, desarrollado por Ayala Trujillo, Silvia Alexandra y Pacheco Espinel, Gabriel Santiago, en el año 2013, establece un control y monitoreo de cloración de agua en forma remota mediante tecnología zigbee, recalando que al potabilizar el agua con un exceso de cloro las personas pueden estar induciendo en enfermedades de alto riesgo como el cáncer de hígado, estomago, riñón, colon, recto. Obligatoriamente por estas razones EPMAPAL se apega la Norma INEN 1108 con la finalidad de establecer un eficaz control sanitario del agua con límites permisibles de cloro en un rango de 0,3PPM a 1,5PPM y el PH en márgenes de 6,5 a 8,5[3].

En Colombia se desarrolló el trabajo de tesis con el tema “Propuesta de automatización en la dosificación de químicos para la planta de tratamiento de agua potable (ptap) en Vélez Santander”, implementado por Eliecer Barrera Ariza y Sandra Milena Santoyo Castañeda, destaca la utilización de un PLC S7-200 para mejorar la etapa de suministro de cloro gaseoso en el proceso de desinfección del agua considerando la cantidad de agua, concentración de las mezclas y el caudal a tratar. Se implementó una balanza con comunicación RS 232 para el control continuo de los estados de vaciado de los cilindros que contienen el cloro, como también un actuador que es una bomba de tres vías controlada por un relé que suministra el cloro gaseoso dependiendo del caudal medido por un caudal metro, enviando todos los datos de suministro al PLC[4].

1.2 Fundamentación teórica

1.2.1 El agua

El agua es la sustancia cuyas moléculas están formadas por la combinación de un átomo de oxígeno y dos de hidrogeno, los átomos están formados por un núcleo que lleva prácticamente toda la masa del átomo, posee carga eléctrica positiva y está rodeado por una nube de electrones de carga negativa. Para asociarse, los átomos forman o ceden electrones hasta que adquieren la configuración más estable.[5]

Importancia del agua en el mundo

El agua es un elemento esencial para la subsistencia de la vida en el planeta; es considerado el solvente universal por su estructura molecular, el agua y sus propiedades permiten que sea el medio en el que sucede la mayoría de las reacciones bioquímicas, es por ello su gran utilidad e influencia en el campo de la industria, campo investigativo y campo social, dada su economía y disponibilidad relativa. Cabe considerar que todos los datos y estudios que sustentan la importancia del agua en el planeta sin duda, enfatizan en el cuidado de la naturaleza[6].

El agua, sin ella el hombre no podría existir. Toda población o comunidad ha buscado asentamiento cerca de una fuente de agua. Actualmente, la disponibilidad de agua en cantidad suficiente y de buena calidad es una de las principales necesidades de cualquier población. Por esta razón, la calidad del agua es la rama de la Ingeniería que pretende[7]:

- Diagnosticar los problemas relacionados con la calidad del agua.
- Relacionar los problemas de calidad con los diferentes usos deseables del agua.
- Juzgar que variables de calidad de agua se necesita controlar y los medios o recursos disponibles para hacerlo.

Fuentes de agua

Las fuentes de agua son las que proveen el líquido vital sin importar su naturaleza. El racionamiento de agua a la población se la puede realizar de dos fuentes con características bien diferenciadas:

Aguas superficiales: Las aguas superficiales son las que están expuestas al medio ambiente y por esto son susceptibles de contaminación. Es evidente y necesario un tratamiento integral antes de ser aptas para el consumo humano, éste tratamiento suele realizarse por parte de las instituciones a cargo de la explotación de los recursos hídricos, en la figura 1 se muestra un ejemplo de éste tipo de aguas superficiales.



Figura 1. Aguas Superficiales.
Fuente: <https://bit.ly/2tBRoYL>

Aguas subterráneas: Las aguas subterráneas son aquellas que constituyen parte de un ciclo hidrológico, son fuentes de difícil explotación, por no hallarse tan accesibles como las aguas superficiales. Su origen se debe a la percolación a través de diferentes capas terrestres que son capaces de contenerla que pasan al acuífero. Si bien es cierto éste sistema de filtración natural contribuye a la purificación del agua, por otra parte, para considerarse potables deben cumplir varias características químicas, físicas y microbiológicas, en la figura 2 se muestra un ejemplo. Cabe considerar que a un largo plazo los acuíferos llegan a contaminarse, por esto es necesario un ligero tratamiento de este tipo de aguas subterráneas [8].



Figura 2. Aguas Superficiales.
Fuente: <https://bit.ly/2SSrNWh>

Agua potable

El agua potable se define como, el agua usada para el consumo humano cuyas características físicas, químicas y microbiológicas han sido tratadas a fin de garantizar y cumplir los estándares nacionales e internacionales para su calidad. Sus principales características son: incolora, inodora, e insípida, al mismo tiempo debe contener oxígeno y sales disueltas en una concentración conveniente. Por otra parte, el agua cruda, proveniente de los acuíferos y pozos no poseen ciertas características, de tal forma es necesario que se desarrolle un proceso de tratamiento a fin de hacerla potable[9].

1.2.2 Desinfección del agua

La desinfección del agua es la operación que asegura protección contra el riesgo de infecciones de origen hídrico: este es el tratamiento que debe aplicarse prioritariamente cuando el agua está contaminada, o cuando no se puede garantizar su potabilidad natural de forma permanente. La desinfección del agua se puede obtener por diversos medios físicos o químicos[10].

- Ebullición
- Rayos ultravioletas
- Procesos químicos

La desinfección de agua está ligada a la destrucción de los organismos causantes de enfermedades o patógenos presentes en ella. Por consecuencia las especificaciones que debe tener un desinfectante ideal para poder ser usado en las plantas de purificación son[11]:

- Debe realizar esta tarea a la temperatura del lugar y en un tiempo adecuado.
- Debe ser capaz de destruir los organismos que conllevan a enfermedades.
- No debe hacer al agua toxica para la salud o de sabor desagradable.
- Debe ser de fácil obtención, sencillo manejo y bajo costo.
- Su concentración en el agua debe obtenerse con rapidez.
- Debe dejar un efecto residual, para que proteja el agua contra posteriores contaminaciones.

La mayor parte de las aguas, aun en el caso de que sean totalmente claras, o hayan sido sometidas a un tratamiento especial, se encuentran, generalmente, contaminadas por microbios nocivos para el organismo humano. Su primer objetivo está centralizado en evitar la transmisión de enfermedades; el segundo consiste en evitar el desarrollo de algas microscópicas que enturbian el agua, creando un color verdoso. Si una pequeña cantidad de cloro se agrega al agua, reaccionará con la gran cantidad de sustancias disueltas o suspendidas en ella, y entonces su poder como agente desinfectante quedará anulado[12].

Métodos físicos y químicos de desinfección de agua en zonas rurales

La desinfección dentro de los sistemas de potabilización y tratamiento de aguas residuales es una medida esencial de salud pública, y su importancia se ha demostrado tanto en la teoría como en la práctica. El tratamiento adecuado y la desinfección fiable de agua permitieron reducir considerablemente la incidencia de la tifoidea y el cólera en muchos países antes de que se descubrieran los antibióticos y las vacunas. En todos los sitios donde se ha realizado adecuadamente la desinfección del agua, se han obtenido beneficios en la salud de los consumidores finales.

En varios países los organismos a cargo del suministro del agua potable no tienen una amplia cobertura o no son suficientes en las zonas rurales, debido a factores como la falta de recursos económicos o técnicos. Al mismo tiempo es de conocimiento general la variedad de enfermedades infecciosas que causa el consumo de agua contaminada con microorganismos. Los desinfectantes y el equipo de desinfección se deben elegir de modo que satisfagan en lo posible las condiciones específicas de la aplicación a que se destinen considerando todos los parámetros que influyen en la fiabilidad, continuidad y eficacia de la desinfección, se debe considerar los costos, le eficacia y posible automatización, dicho esto en la tabla 1 se muestran distintos métodos de desinfección física[13].

Tabla 1: Métodos físicos de desinfección de agua

Método	Principio de desinfección
Radiación solar	Los microorganismos expuestos por un tiempo determinado a los rayos UV, tienden a sufrir un daño al ácido desoxirribonucleico (ADN) o ribonucleico (ARN) de las células microbianas.
Concentrado Solar	Dispositivo que concentra los rayos UV de la radiación solar en un contenedor, la eficiencia dependerá de la radiación solar de la zona ubicada y el material del contenedor.
Temperatura	Esta medida es de bajo costo se aplica en comunidades rurales; consiste en aumentar la temperatura por arriba de los 60°C para la inactivación de la mayoría de microorganismos.
Desinfección con luz UV	Se utiliza una lámpara germicida, que emite una dosis de radiación para mejorar la calidad de agua ante agentes bacteriológicos.
Filtros de cantera	Es un diseño artesanal, la filtración se realiza de manera lenta por goteo constante, debido a la estrecha porosidad de la cantera, esto hace que solo el agua traspase dicho material quedando libre de partículas como bacterias y sólidos suspendidos que se quedan retenidos en la superficie de la cantera.
Filtros de cartucho	Son filtros purificadores conformados por un porta cartucho o carcasa y el elemento filtrante de porosidad fina (cartuchos de papel o fibras sintéticas reemplazables) se encargan de retener partículas de arena, lodo y de forma eficiente los microorganismos del agua.
Filtración lenta de arena	Es una de las tecnologías más antiguas y efectivas, elimina la turbiedad del agua a través de una cama porosa de arena, el agua ingresa a la superficie del filtro y después se drena por el fondo.

Elaborado por: El investigador basado en [12].

El agua es un elemento que posee propiedades químicas que al generar contacto con otras sustancias permite cambiar y mejorar sus propiedades, este contacto se define como una desinfección por medio de procesos químicos, algunos de estos se destacan en la tabla 2.

Tabla 2: Métodos químicos de desinfección de agua

Método	Principio de desinfección
Aplicación de cloro	Es el tratamiento más utilizado debido a que es confiable, económico y por su efecto residual. Se recomienda una concentración entre 0.5 y 1.5 mg/l de cloro residual en el agua.
Cloración a nivel domiciliario	Se realiza la desinfección con hipoclorito de sodio o conocido como blanqueador, generalmente concentrados al 5%.
Cloración a nivel comunidad	Es aplicado mediante un gotero a la tubería de salida. Su preparación debe ser en gran cantidad para desinfectar el agua por varios días de trabajo.
Aplicación de yodo	Es un desinfectante eficaz para las bacterias, virus y otros microorganismos pero su costo es de 6 a 10 veces más elevado que el cloro.
Uso de plata coloidal	Se aplica directamente en el agua, pero su consumo debe ser después de 30 a 60 min de la reacción. En el mercado se encuentra con el nombre de Microdyn.

Elaborado por: El investigador basado en [12].

1.2.3 Cloración del agua potable

La cloración del agua potable es el proceso o la operación que consiste en inyectar cloro al agua con el propósito de desinfectarla y se puede realizar mediante la aplicación de cloro gas, soluciones de hipoclorito sódico e hipoclorito de calcio.[14]

El cloro, en sus diferentes formas de presentación es utilizado de forma generalizada como agente desinfectante del agua y entre sus ventajas se destacan[2]:

- Se obtiene fácilmente como gas, líquido, polvo o granulado.
- Bajo costo.
- Es fácil de aplicar por su relativamente alta solubilidad.

- Deja una concentración residual en el agua potable, que no es dañina para el hombre y que protege el sistema de distribución.
- Es muy tóxico para la mayoría de los microorganismos, ya que detiene las actividades metabólicas.

Seguidamente se describen los compuestos de cloro con mayor afluencia en el sistema de desinfección:

Cloro gas. - El cloro es un gas tóxico, de color verde amarillento, más denso que el aire. Es un elemento muy oxidante que reacciona con muchísimos compuestos. El vapor de cloro presenta síntomas de irritación por inhalación y puede causar heridas graves en caso de exposición a altas concentraciones[1].

Hipoclorito sódico: El hipoclorito sódico es un desinfectante que se utiliza desde el siglo XVIII y que popularmente se conoce como cloro doméstico o lejía. Se obtiene por reacción del cloro gas con una solución de hidróxido de sodio a nivel industrial. El hipoclorito sódico es un oxidante muy potente e inestable, tanto, que una solución de 100 gramos de cloro activo por litro, después de ser almacenada durante 3 meses, puede contener 90 gramos o incluso menos[1].

Hipoclorito cálcico: El hipoclorito cálcico es un sólido blanco con contenido entre el 20 y el 70% de cloro activo. Es muy corrosivo y que puede inflamarse al entrar en contacto con ciertos materiales ácidos. Sin embargo, presenta dos ventajas respecto al hipoclorito sódico: su mayor contenido en cloro y su mayor estabilidad. Para ser utilizado, se diluye con agua para obtener una solución de concentración más manejable, por ejemplo, 2%[1].

Control de la cloración

El control de la cloración permite inyectar la dosis correspondiente de cloro en el agua, ya sea en forma de gas o líquida, para obtener la desinfección ideal, por esto es necesario conocer y entender el proceso de reacción del cloro desde el instante que tiene contacto con el agua[12].

Debido a que el cloro es un agente oxidante fuerte, si una pequeña dosis de cloro se agrega al agua, reaccionará con la gran cantidad de sustancias disueltas o suspendidas en ella, y entonces su poder como agente desinfectante quedará anulado. Es decir, reacciona con la mayor parte del material en estado reducido (hierro, manganeso, ácido sulfhídrico y amoníaco) esta materia consume el cloro antes de que éste actúe como desinfectante[12].

Conforme el cloro es agregado, reacciona con cualquier materia orgánica presente para producir compuestos orgánicos de cloro (cloraminas), los cuales tienen poca o ninguna acción desinfectante y pueden causar sabores y olores[12].

Si se continúa mezclando cloro hasta llegar al punto de quiebre “break point”, significa que se ha consumido todo el cloro necesario para eliminar el amoníaco y se han destruido parte de las cloraminas que pudieran haberse formado[12].

El punto de quiebre o ruptura es la dosis que corresponde al mínimo sabor a cloro del agua, a partir del cual se empiezan a cumplir las normas higiénicas debido a que se produce cloro residual libre el cual garantiza una desinfección eficiente.

En la figura 3 se expone gráficamente todo lo dicho con anterioridad, en la denominada “curva de la demanda del cloro” [12].

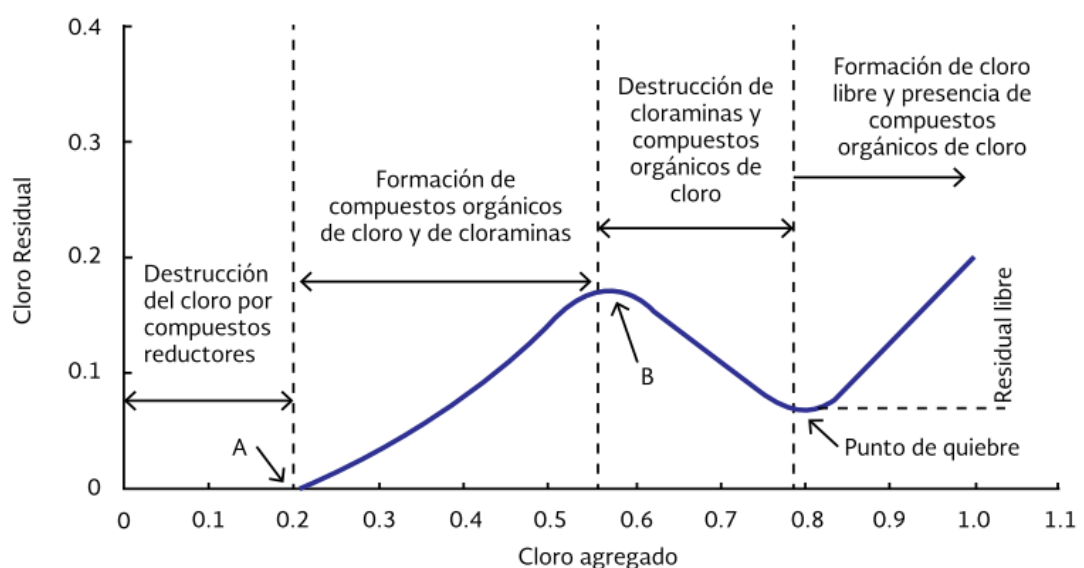


Figura 3. Curva de demanda de cloro[13].

1.2.4 Parámetros físicos del agua

Los parámetros físicos del agua son aquellos elementos que inciden directamente en las condiciones visibles del agua. Entre los más importantes se destacan los siguientes.

Turbiedad

Turbiedad es la capacidad que tiene el material suspendido en el agua para obstaculizar el paso de la luz. La turbiedad es producida por una gran variedad de causas. Entre ellas las más importantes pueden ser[7]:

- La erosión natural de las cuencas la cual aporta sedimentos a los cauces de los ríos.
- La contaminación causada por la industria o por desechos domésticos.

La turbiedad es importante en el tratamiento del agua potable por las siguientes razones:

- Estética. - La presencia de turbiedad en el agua causa rechazo en el consumidor.
- Filtración y cloración del agua. - La turbiedad puede incidir en la eficiencia de determinados procesos de tratamiento del agua, por ejemplo, la filtración y la desinfección. La filtración del agua se vuelve más difícil y costosa cuando la turbiedad es alta; la turbiedad obstruye los filtros, genera problemas de operación en el tratamiento del agua potable, cuando la turbiedad es alta se necesitan dosis mayores de cloro para desinfectar el agua.

Temperatura

La temperatura es una magnitud referente al calor que puede ser medible por un termómetro, la temperatura puede ser el parámetro físico más importante del agua. Además de afectar la viscosidad y la velocidad de las reacciones químicas, interviene en el diseño de la mayoría de los procesos de tratamiento del agua[7].

Visibilidad

La visibilidad es la interferencia que producen los materiales suspendidos en el agua al paso de la luz. Este parámetro realmente representa la profundidad de la zona fótica, es decir, la zona hasta donde penetra la luz en el agua y puede realizarse fotosíntesis[7].

Olor y sabor

Olor y sabor se citan en conjunto por estar íntimamente ligados. Los olores y sabores en el agua están asociados con la presencia de sustancias indeseables causando el rechazo del consumidor[7].

1.2.5 Parámetros químicos del agua

Los parámetros químicos influyen directamente sobre el proceso de desinfección del agua, ya que su concentración se debe a las presencia e interacción de varias sustancias las cuales se presentan a continuación[7].

Potencial hidrogeno pH

El pH es el término utilizado para expresar la intensidad de las condiciones acidas o básicas del agua. Por análisis químicos se sabe que el pH siempre se encuentra en una escala de 0 a 14, se puede representar en la figura 4, cabe recalcar que el pH mide el grado de acidez o de alcalinidad, pero no determina los valores de acidez y de alcalinidad[7].

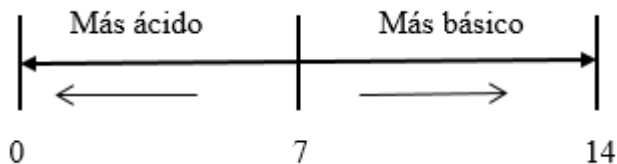


Figura 4. Escala representativa de pH
Fuente: El investigador

Conductividad eléctrica

La conductividad eléctrica es la capacidad de un cuerpo para conducir o hacer circular la corriente eléctrica. La conductividad es la inversa de la resistividad, en la tabla 3 se

muestra los valores de conductividad eléctrica esperados para diferentes tipos de agua, referenciados a una temperatura estándar de 25°C.

Tabla 3. Tipos de agua y conductividad

TIPOS DE AGUA	CONDUCTIVIDAD
Agua ultrapura	0,055 uS/cm
Agua destilada	0,5 uS/cm
Agua de montaña	1,0 uS/cm
Agua potable	500 a 800 uS/cm
Agua de mar	56 mS/cm
Agua salobre	100 mS/cm

Elaborado por: El investigador basado en [15]

La conductividad es un indicativo de las sales disueltas en el agua y mide la cantidad de iones especialmente de Ca, Mg, Na, P, bicarbonatados, cloruros y sulfatos. Se mide en micromhos/cm o Siemens/cm. La conductividad tiende a ser afectada por el tipo de sales presentes, tiempo de disolución, temperatura, gases disueltos, pH y factores que afectan la solubilidad. Adicionalmente es de importancia mencionar que, en el agua, las sales minerales son buenas conductoras, mientras que las materias orgánicas y coloidales poseen una conductividad baja[7].

Cloro residual

El cloro residual es la concentración de cloro presente en el agua, tras la aplicación de la dosis considerada y transcurrido el tiempo de contacto necesario para realizar su acción oxidante, el que se ha consumido parte del mismo[2].

Demanda de cloro

La demanda de cloro es la cantidad que se emplea para la reacción con los compuestos reductores y orgánicos. Para entender estos conceptos se puede ver la figura 5 que indica la dosis esquemática total del cloro[2].

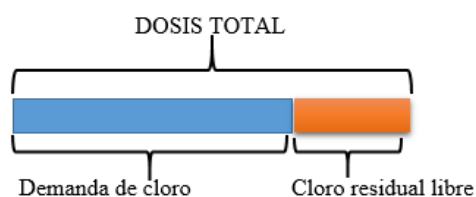


Figura 5. Dosis esquemática total del cloro en el agua.

1.2.6 Sistemas automatizados para la dosificación de cloro

Los sistemas automatizados para dosificación de cloro entregan la cantidad correcta de hipoclorito de calcio, hipoclorito de sodio o cloro gas, con el uso de equipos de bombeo y control, así como la calibración que asegurará la adición del cloro de manera precisa y continua, entre los más destacados se muestran en la tabla 4 [14]:

Tabla 4. Sistemas para la dosificación de cloro:

Tipos de sistemas para la dosificación de cloro	
Sistema de dosificación utilizando un Vénturi	<ul style="list-style-type: none"> • Sistema confiable conformado por tres elementos principales: un inyector, una válvula de ajuste de la dosificación y un medidor de caudal
Sistema automatizado de hipoclorito de calcio	<ul style="list-style-type: none"> • Posee un control automático al momento de dosificar y controlar el nivel de cloro que se inyecta para la desinfección. • Depende en gran medida de una persona por cuanto la solución de hipoclorito de calcio
Sistema automatizado de cloro gaseoso	<ul style="list-style-type: none"> • Brinda todas las garantías necesarias al momento de desinfectar el líquido vital y por ende asegura un agua de calidad para los consumidores.

Elaborado por: El investigador basado en [14].

Plantas de purificación

Las plantas de purificación son las que proveen agua de calidad para el consumo humano libre de contaminantes. La calidad de agua cruda oscila grandemente de una fuente a otra, por lo cual el tipo de tratamiento también varía. El diseño de una planta de tratamiento eficiente y económico requiere un estudio de ingeniería cuidadoso basado en la calidad de la fuente y en la selección apropiada de los procesos y operaciones de tratamiento más adecuado y económicos de producir agua de la calidad requerida[16].

Equipos y accesorios de cloración

El equipo de cloración es el encargado de suministrar y facilitar el proceso de desinfección del agua de consumo, existen dos equipos considerablemente más utilizados: el dosificador de tableta (o pastilla) y el hipoclorador de tipo de carga constante, tomando en cuenta la importante diferencia entre los dos equipos que es la manera de funcionamiento[1].

- **Dosificador de tableta.** - Equipo dosificador por erosión de tabletas y dosificadores de píldoras. Los equipos dosificadores que trabajan bajo el "sistema por erosión" utilizan tabletas de hipoclorito de calcio de alta concentración (HTH), las que se pueden obtener de distribuidores o prepararse localmente comprimiendo mecánicamente polvo de hipoclorito de calcio. Este sistema ha encontrado un lugar importante en la desinfección de abastecimientos de agua para comunidades pequeñas e individuales, en la figura 6 se muestra un ejemplo del dosificador [17].



Figura 6. Dosificador de cloro sólido.

Fuente: <https://bit.ly/2QUQxub>

- **Hipoclorador de carga constante.** - hipoclorador es una bomba que succiona una solución de cloro de un recipiente. Para posteriormente inyectar la solución en la tubería del sistema por medio de una válvula de inyección, la cual tiene un difusor de espera. En localidades cuya población es menor a 5,000 habitantes, los aparatos dosificadores sugeridos pueden ser hipocloradores de solución de tipo de carga constante, ver la figura 7 de este tipo de equipo[1].



Figura 7. Hipoclorador
Fuente: <https://bit.ly/2N3nEej>

- **Electroválvula.** - Es un dispositivo electromagnético que permite o bloquea el paso de un fluido en un circuito o tubería. La apertura y cierre de la válvula se realiza por medio de un campo magnético, generado por una bobina que atrae un embolo. Tiene la característica que permanece totalmente abierta o totalmente cerrada, en la figura 8 se observa un ejemplo[18] .



Figura 8. Electroválvula
Fuente: <https://bit.ly/34NocN5>

- **Bomba peristáltica.** - la bomba peristáltica es un tipo de bomba de desplazamiento positivo usada para bombear ciertos fluidos. El fluido es contenido

dentro de un tubo flexible empotrado sobre una cubierta circular de la bomba como se visualiza en la figura 9. Su funcionamiento es que mientras el rotor gira, la parte del tubo se cierra bajo compresión forzando de esta manera a que el fluido sea bombeado para moverse a través del tubo. Mientras el tubo se vuelve abrir a su estado natural después del paso del rodillo, el flujo del fluido es succionado de la fuente de solución hacia la bomba. Este proceso se denomina perístasis[19].



Figura 9. Bomba peristáltica
Fuente: <https://bit.ly/3cgsIX0>

1.2.7 Redes inalámbricas

Las redes inalámbricas se definen como su nombre lo indica son aquellas que carecen de cables. Gracias a las ondas de radio, se lograron redes de computadoras con esta característica. Esta tecnología permite otorgar el acceso a medios e información en lugares en que se imposibilita la utilización de cables, como zonas rurales de corto acceso. Además, estas redes pueden ampliar una ya existente y suministrar el acceso a usuarios que se encuentren en un lugar remoto, sin la necesidad de conectarse al nodo central[20].

Una de las tecnologías más interesantes de la industria actual probablemente sea el mundo de las comunicaciones inalámbricas. Esta afirmación no se basa en el último avance de las comunicaciones, sino en el más significativo. A menudo, todos escuchamos como la evolución de la tecnología nos libera de los tradicionales cables que proporcionan las comunicaciones actuales. Sin embargo, las comunicaciones inalámbricas han estado durante décadas a nuestro alrededor en una variedad de usos y técnicas. Las nuevas aplicaciones ahora se inspiran en servicios triviales, lo que ha

desesperado el interés internacional. Hoy en día, toda la gente habla sobre el futuro del mundo inalámbrico y de las posibilidades para comunicarse en general[20].

La transmisión y la recepción se realizan en la comunicación inalámbrica es a través de puertos. Básicamente existen tres categorías de redes inalámbricas.

- Larga distancia: estas son utilizadas para distancias grandes como puede ser otra ciudad u otro país.
- Media Distancia: Son utilizadas para distancias cortas como en barrios o conjuntos residenciales
- Corta distancia: son utilizadas para un mismo edificio o en varios edificios cercanos no muy retirados.

Redes inalámbricas para el control industrial.

Las redes inalámbricas han sido ampliamente utilizadas en todo el mundo, en aplicaciones comerciales y domesticas para transmitir datos, audio y video, esto potenciado por la masificación en el uso del internet, caracterizado por la trasmisión de grandes cantidades de datos de forma cableada e inalámbrica, siendo la tecnología inalámbrica IEEE 802.11 la más popular. Inicialmente estas redes fueron aplicadas a la industria para la comunicación sensor/actuador ya que muchos de estos sensores estaban ubicados en sistemas móviles con muy buenos resultados, en vista de esto se extendió esta aplicación a sistemas de control en la comunicación actuador/controlador, para ello se propusieron y desarrollaron nuevos protocolos. La tecnología inalámbrica puede ser utilizada como medio de comunicación para el control en procesos industriales, a continuación en la figura 10 se muestra el mapa conceptual de estas redes[21].

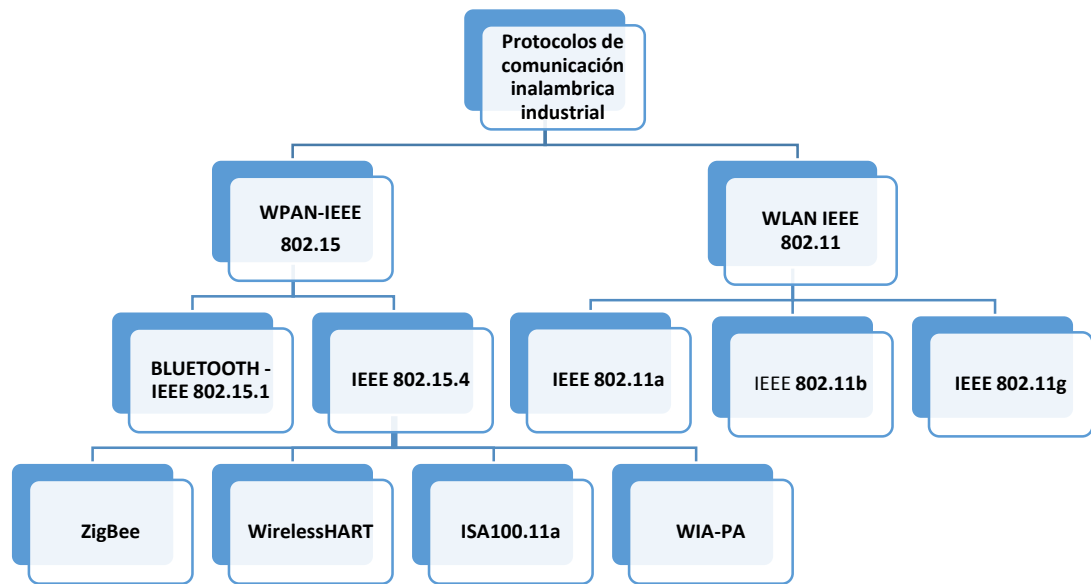


Figura 10. Estándares de comunicación inalámbrica utilizadas a nivel industrial [13]

Red de área personal inalámbrica (WPAN)

La red de área personal es una red conformada por una pequeña cantidad de equipos establecidos a una distancia corta uno de otro. Este tipo de red permite que la comunicación que se establezca sea rápida y efectiva, se caracteriza por su baja complejidad en su diseño, bajos costos y reducido consumo de potencia[22].

Red de área local inalámbrica (WLAN)

La red de área local inalámbrica es un sistema de transmisión de información o de datos de forma inalámbrica, es decir por medio de satélites o microondas, la existencia de esta red está basada en el desarrollo de los dispositivos móviles y equipos portátiles[22].

Red de área metropolitana inalámbrica (WMAN)

La red de área metropolitana es un sistema basado en la conexión de equipos informáticos ubicados en un área geográfica amplia, su conexión está basada en el uso de satélites para cubrir distintos continentes[22].

En la tabla 5 se muestra las tecnológicas más importantes que se utilizan en algunas de las categorías de redes inalámbricas.

Tabla 5. Tecnologías utilizadas en redes inalámbricas.

Red inalámbrica	Tecnologías Utilizadas
Redes de área personal inalámbricas (WPAN)	Bluetooth, Infrarrojo DECT
Red de área local inalámbrica (WLAN)	WiFi,homeRF hiperLan
Red de área metropolitana inalámbrica (WMAN)	LMD WiMAX
Redes inalámbricas globales (WWAN)	GSM,GPRS UMTS HSDPA

Elaborado por: El investigador basado en [23].

1.2.8 Sistema de energía fotovoltaica

Un sistema de energía fotovoltaico es el conjunto de componentes eléctricos y electrónicos que pueden generar energía eléctrica partiendo de la radiación solar. El elemento principal de este sistema es el módulo fotovoltaico o panel solar, compuesto por células fabricadas de material semiconductor, capaces de transformar la energía luminosa incidente en energía eléctrica de corriente continua[18].

Sistemas fotovoltaicos aislados

Este tipo de sistemas están diseñados principalmente para zonas de difícil acceso y que la red de energía eléctrica pública no está disponible. Son sistemas confiables y pueden generar energía de manera eficiente hasta por tres días sin presencia de sol. Las aplicaciones de este sistema pueden ser [24]:

- Alumbrado público
- Viviendas y edificios
- Aplicaciones agropecuarias
- Bombeo y tratamiento de agua
- Señalización de carreteras y obras
- Sistemas de medición o control aislados

Panel solar

Un panel solar o módulo solar es un dispositivo que contiene células solares agrupadas en serie y paralelo que convierten la energía de la radiación solar entregando tensión y corriente eléctrica. Las células están protegidas físicamente de la intemperie y eléctricamente aisladas del exterior, obteniendo una rigidez a todo el sistema[18].

Reguladores de carga

Un regulador de carga es un equipo electrónico que evita la sobrecarga y la descarga excesiva de un acumulador (batería) cuando el sistema alcanza valores umbrales o límites, determinados por la tensión en bornes de la batería. La protección frente a la sobrecarga se realiza desconectando al generador de la batería o desviando la corriente del generador hacia un circuito alternativo, como un cortocircuito o un disipador. En la segunda opción se incorpora un diodo de bloqueo entre el generador y la batería para evitar descargas de ésta sobre el camino alternativo que ofrece el regulador. La protección a la descarga total se realiza desconectando los equipos que consumen energía de la batería, para ello los reguladores de carga utilizan interruptores MOSFET's como dispositivos de conmutación[18].

Acumulador electro-químico

Un acumulador electroquímico es una batería secundaria o recargable, que tiene la capacidad de almacenar energía eléctrica por medio de una transformación en energía electroquímica. Da autonomía al sistema fotovoltaico al entregar los requerimientos de consumo en cualquier momento, de forma independiente a la generación eléctrica. Además, beneficia al sistema con un buen funcionamiento, aportando picos de intensidad superiores a los que suministra el generador fotovoltaico y evitando daños a los equipos[18].

1.2.9 Código abierto (Open Source)

El código abierto es un término utilizado en la informática para denominar a todo desarrollo informático que tiene una licencia que da acceso al código fuente. Se califica como open source, en consecuencia, a los programas informáticos que permiten el ingreso a su código de programación, lo que facilita modificaciones por medio de

otros programadores ajenos a los creadores originales del software en materia. Es esencial diferenciar entre el software open source, que dispone de la mencionada característica de manifestar su código abierto, y el software libre (que puede descargarse y distribuirse de manera gratuita). Existe software libre que no rinda acceso al código (y que, por lo tanto, no puede considerarse como open source), y programas open source que se distribuyen de manera comercial o que requieren de un permiso para ser modificados[22].

Hardware libre

El hardware libre está basado en el principio de uso libre a los dispositivos físicos, generalmente el uso de nuevas tarjetas de desarrollo y elementos de control, que son utilizados y modificados con un propósito ético y fundamental.

1.2.10 Controlador lógico programable (PLC)

El PLC es un dispositivo electrónico operado digitalmente, que utiliza memoria programable para almacenar líneas de instrucciones que permiten realizar funciones específicas, tales como lógica, registro y control de tiempos, operaciones aritméticas que permiten controlar procesos por medio de las entradas y salidas que disponen. Un PLC es un sistema de control, utilizado en el ambiente industrial que permiten la automatización de una o varias estaciones de trabajo en una empresa, ya que controla tiempos de ejecución y desarrollan secuencias aleatorias o fijas[25].

Para el diseño o construcción de un autómata programable existen varias características que deben ser tomadas en cuenta entre las que se destacan:

- Estos dispositivos suelen cambiar a lo largo de la vida útil y por ello es necesario, de forma general que la implementación del sistema electrónico que los controla se lleve a cabo de forma que se pueda modificar fácilmente su número de variables de entrada y/o salida, en otras palabras, el sistema debe ser modular.
- El aumento en la complejidad de los procesos industriales y el coste que puede provocar el que una o varias máquinas que lo conforman quede fuera de servicio durante un tiempo grande, hace que la garantía de funcionamiento de estos

controladores lógicos utilizados en los procesos sea un factor importante en la mayoría de los campos de aplicación.

Se considera la existencia de procesos industriales con parámetros muy diferentes que van desde un sencillo sistema de riego, hasta un complejo sistema de fabricación flexible hacen que las prestaciones del autómatas programable más adecuado para controlarlos sean distintas, observar el ejemplo de un sistema de riego en la figura 11.

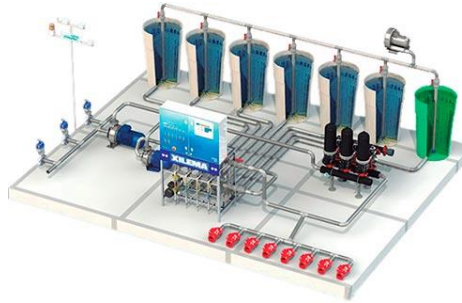


Figura 11. Sistema de riego con autómatas.
Fuente: <https://bit.ly/2T5Yq11>

Todas estas características han hecho que los fabricantes de autómatas programables comercialicen varias familias o versiones y que cada una de ellas está formada por varios miembros que se diferencian por el nivel de los parámetros asociados con los principales conceptos a tener en cuenta en estos dispositivos programables como son [25]:

- Unidad central.
- Capacidad de memoria de programa/datos.
- Capacidad de entradas y salidas digitales.
- Módulos específicos de entrada/salida.
- Recursos de comunicaciones.
- Interfaz máquina-usuario.
- Protección de la propiedad intelectual, seguridad.
- Lenguajes de programación.

PLC de software libre (Open Source)

El PLC, al ser un controlador digital, comparte términos comunes con las PC típicas, como CPU, memoria, bus y expansión. Pero hay dos aspectos del PLC que los

diferencian de las computadoras estándar. El primero es que su hardware debe ser lo suficientemente resistente como para sobrevivir a una atmósfera industrial resistente. El segundo es que su software debe ser en tiempo real[26].

En pocos años, el PLC comenzó a extenderse por toda la industria automotriz, reemplazando las máquinas de lógica de relevo como un solución más fácil y económica, y convertirse en un estándar para automatización industrial. Existe una relación estricta entre automatización y desarrollo. En los países menos desarrollados, las mayores barreras son conocimiento y costo. Los controladores industriales siguen siendo muy costoso. Las empresas no brindan información detallada sobre cómo funcionan estos controladores internamente, ya que son todos de paga[26].

En la actualidad los autómatas industriales se han desarrollado en varias empresas a nivel mundial basados en software y hardware libre que brindan características técnicas de gama media y alta, que permiten controlar desde procesos industriales pequeños a procesos industriales de gran escala[26] .

Sensores

Los sensores son dispositivos que permiten cuantificar una variable física, en cambio los actuadores, a partir de la variable física medida por el sensor, tienen la tarea de realizar una acción, como consecuencia de haber procesado que tendrá dicha variable. Para su funcionamiento, los sensores y actuadores se basan en el principio de transducción. Sin embargo, los principios de transducción son muy variados, entonces la forma en que son utilizados dependerá de que tipo de variable física tenga que cuantificar el sensor o de qué tipo de energía recibe el actuador para convertirla en movimiento. Actualmente los sensores entregan señales eléctricas a la salida, ya sean analógicas o digitales, debido a que este tipo de dominio físico es el más utilizado en los sistemas de medida actuales.[27]

Actuadores

Un actuador es un dispositivo con la capacidad de generar una fuerza que ejerce un cambio de posición, velocidad o estado de algún tipo sobre un elemento mecánico, a

partir de la transformación de energía. Los actuadores se clasifican en dos grupos: por el tipo de energía utilizada y por el tipo de movimiento que genera.

Actuadores eléctricos

Los actuadores eléctricos transforman la energía eléctrica en energía mecánica, ya sea rotacional o de forma lineal. De todos los actuadores disponibles en el mercado, estos son los que tienen mayor uso, por su fuente de alimentación disponible en la red. Se clasifican de acuerdo con el tipo de energía eléctrica con la que son alimentados, por el movimiento que generan y por la forma de excitación.[27]

1.2.11 Fundamentos de sistema de control

Sistema de control

Un sistema de control es el conjunto de elementos interrelacionados entre sí que tienen parámetros y variables características que determinan el estado del sistema su objetivo es el de regular o controlar algún proceso[28].

Sistema de lazo abierto

En este tipo de sistema, la salida no tiene efecto alguno sobre la acción de control, la salida no se compara con la entrada de referencia, por ello cada entrada corresponderá a una operación prefijada sobre la señal de salida. La exactitud del sistema depende de la calibración del mismo, en consecuencia, la presencia de perturbaciones en la cadena provocará que éste no cumpla la función asignada. En la figura 12 se visualiza este tipo de sistema en diagrama de bloques.



Figura 12. Sistema de control de lazo abierto.

Sistema de control de lazo cerrado

El sistema de control de lazo cerrado es un sistema retroalimentado de circuito cerrado que permite ejercer una acción de control de manera automática por medio de un controlador o regulador. En la figura 13 se observa las partes básicas de un sistema de control de lazo cerrado[28].

En este sistema se tiene una entrada denominada set point o punto de consigna y como salida una variable controlada, en el dispositivo comparador la señal de error es generada realizando la diferencia entre set point y la variable manipulada[28].

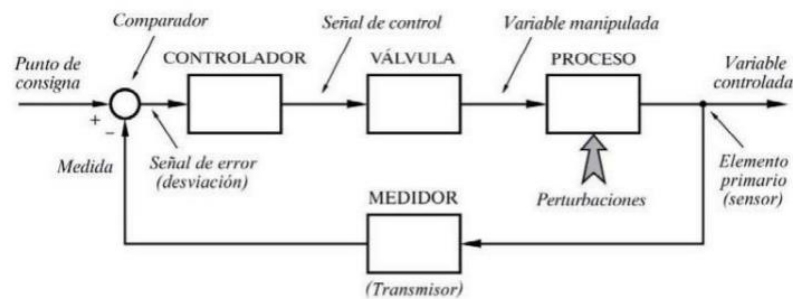


Figura 13. Sistema de control de lazo cerrado.

El controlador es un dispositivo que regula y gobierna el elemento final de regulación que es normalmente puede ser un motor o una válvula de control. La señal de control o variable manipulada es la cantidad o condición que el controlador modifica para afectar el valor de la variable controlada[28].

El proceso es el conjunto de los elementos de una maquina o una planta física, y cuya finalidad es realizar una operación específica, su operación es regulada por el controlador. El sensor es un dispositivo también llamado transmisor que mide la variable controlada y transmite la señal de medida al controlador[28].

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Implementar un sistema de cloración automático para la Comuna “San Ramón de la Chilintosa” de la Junta Administradora de Agua Potable Regional Oriental Mulaló-Joseguango Bajo- Aláquez.

1.3.2 Objetivos específicos

- Analizar las variables que intervienen en el proceso de descontaminación del agua potable en el sistema actual de la Junta Administradora de Agua Potable Regional Oriental Mulaló-Joseguango Bajo- Aláquez.
- Modelar el proceso de control para automatizar la dosificación de cloro para la Comuna San Ramón de la Chilintosa en la Junta Administradora de Agua Potable Regional Oriental Mulaló-Joseguango Bajo- Aláquez.
- Diseñar el sistema de cloración automático para la Comuna San Ramón de la Chilintosa de la Junta Administradora de Agua Potable Regional Oriental Mulaló-Joseguango Bajo- Aláquez.

CAPITULO 2

METODOLOGÍA

2.1 Materiales

La información que abarca el proyecto y dimensionamiento de equipos y materiales se obtuvo con ayuda de fichas de observación, datos otorgados por la directiva de la comunidad, y además de la biblioteca general de la Universidad Técnica de Ambato.

2.2 Métodos

2.2.1 Modalidad de la investigación.

Para la ejecución del presente proyecto fue necesario implementar varias modalidades de investigación que se describen a continuación:

- **Investigación aplicada**

Se realizó investigación aplicada, porque se pusieron en práctica los conocimientos técnicos en busca de la solución al problema.

- **Investigación bibliográfica-documental**

El trabajo de investigación se realizó de modo bibliográfico _ documental para fundamentar el tema, abordando conceptos importantes y valorando la información de proyectos similares, libros, internet y revistas, para de esta forma proponer una solución factible.

- **Investigación de campo**

Se abordó una investigación de campo por lo que se requirió de visitas constantes al lugar de investigación.

- **Investigación experimental**

La investigación fue experimental, debido a que se desarrolló una implementación para realizar pruebas de control y comunicación.

2.2.2 Recolección de información

Para la recolección de información se consideró libros, publicaciones electrónicas, proyectos afines, mediciones, internet para la extracción de datos destacados que contribuyan con el desarrollo de proyecto, además de la guía e impartición de conocimientos por parte del tutor en diferentes áreas.

2.2.3 Procesamiento y análisis de datos

Para el procesamiento y análisis de los datos del proyecto se llevó a cabo las siguientes actividades.

- Recopilación de información bibliográfica referente al problema y a sus posibles soluciones con proyectos similares al tema de investigación.
- Análisis de diferentes tecnologías para la implantación del sistema.
- Determinación de la mejor opción para la solución del problema.
- Presentación de resultados para comprobar la eficacia del sistema.

2.3 Desarrollo del proyecto

Para el desarrollo del sistema se llevó a cabo las siguientes actividades que permitieron completar el proyecto de manera fiable:

1. Análisis de sistemas actuales utilizados para la dosificación de cloro.
2. Comparación de los métodos para mejorar el sistema actual de dosificación de cloro.
3. Fundamentación de los parámetros técnicos más importantes que intervienen en la desinfección del agua potable.
4. Creación del modelamiento del proceso de control para el sistema de dosificación.
5. Selección del sistema de automatización para sustituir al proceso actual de dosificación de cloro.

6. Estimación de la distancia promedio desde el punto de monitoreo y la zona de distribución del agua potable.
7. Análisis de la tecnología que cumpla los requerimientos básicos para la transmisión de datos.
8. Selección de los sensores adecuados para la implementación.
9. Selección del generador de energía para alimentación del sistema.
10. Pruebas de lectura de los sensores.
11. Comunicación de la red de sensores con el nodo central.
12. Pruebas de funcionamiento.
13. Implementación completa del sistema.

CAPITULO 3

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Análisis y discusión de los resultados

En Cotopaxi la cobertura provincial de agua por red pública cubre un 54,4%, mientras que la cobertura de alcantarillado es del 49,6%, parámetros que indican que aproximadamente el 50% de la población cotopaxense requiere de sistemas de servicio de agua por red pública. La funcionalidad del sistema es mantener el agua potable en óptimas condiciones para el consumo, mediante la dosificación correcta de hipoclorito de calcio desde una solución madre hacia el reservorio de distribución, en base a la adquisición de datos de los sensores implementados en el sistema.

3.2 Desarrollo de la propuesta

La Organización Mundial de la Salud (OMS), señala que el agua potable es esencial para la vida humana, y todas las personas deben disponer de un suministro de agua satisfactorio. La mejora del abastecimiento de agua potable, del saneamiento y gestión de los recursos hídricos puede impulsar el crecimiento económico de los países y contribuir en gran medida a la reducción de la pobreza. El acceso a agua potable y alcantarillado representa el 38% de la pobreza por necesidades básicas insatisfechas (NBI) y el 64,1% de la extrema pobreza por NBI, por tanto, la ampliación o aplicación de estos servicios es una estrategia para disminuir la pobreza[29].

Mediante la implementación del sistema automático de dosificación del hipoclorito de calcio, se logro establecer un control eficaz sanitario del agua potable en la comuna “San Ramón de la Chilintosa” con límites permisibles establecidos en la norma INEN 1108. Reduciendo así las enfermedades causadas por utilizar agua o alimentos contaminados como son: hepatitis viral tipo A, botulismo, intoxicación estafilococia, cólera, diarrea, que según la Organización Mundial de la Salud (OMS) a nivel de América, el 70% de los casos de diarrea se deben al consumo de alimentos o agua contaminada.

3.2.1 Análisis de factibilidad

La presente propuesta de investigación posee las siguientes factibilidades.

Factibilidad técnica

Se posee factibilidad técnica debido a la accesibilidad de los dispositivos a usar en el sistema, ya que se encuentran disponibles en el mercado nacional e internacional.

Factibilidad económica

Existe factibilidad económica de la presente propuesta de investigación, debido a que fue autofinanciada por el Investigador.

Factibilidad bibliográfica

El proyecto de investigación posee factibilidad bibliográfica ya que existe variedad de información acerca del tema en libros, normas, artículos, tesis, internet, etc.

3.2.2 Requerimientos del sistema

Debido a que el proyecto de investigación va a implementar el sistema de dosificación de hipoclorito de calcio en el reservorio de distribución de agua potable de la comuna “San Ramón de la Chilintosa” se consideró de acuerdo a la norma de diseño de abastecimiento de agua potable los siguientes parámetros:

- Lectura del volumen de agua en el reservorio.
- Medición de los niveles óptimos de pH (potencial hidrogeno) del agua.
- Lectura de la temperatura del agua en el reservorio.
- Dosificación de la dosis correcta del hipoclorito de calcio.

A partir de estas necesidades se evaluaron y seleccionaron las tecnologías, técnicas, métodos, así como también materiales de hardware y software idóneos para la realización del prototipo y conseguir los requerimientos establecidos.

3.2.3 Diagrama de bloques del sistema

El diagrama de bloques del sistema se observa en la figura 14, el cual se conforma de dos partes. La primera parte permite obtener los datos de los sensores de nivel, PH, caudal y temperatura para procesarlos mediante la utilización de un autómata programable, encargado de realizar el control de la dosificación correcta en el sistema de agua potable para cumplir con los valores de la Norma CO 10.7 – 602. La segunda parte establece el envío de datos de forma inalámbrica de varios parámetros como lo son el PH, el nivel y la temperatura del agua que ayudan al operador encargado saber y obtener información de la dosificación del hipoclorito de calcio, los datos se envían a los equipos finales (celular) de cada operador.

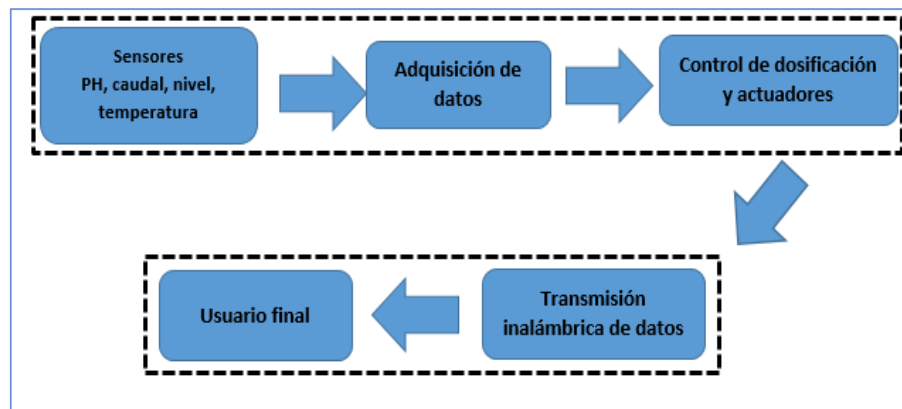


Figura 14. Diagrama de bloques del sistema de dosificación
Elaborado por: el investigador.

3.2.4 Situación actual de desinfección

Para el desarrollo del proyecto es esencial recolectar datos del procedimiento actual de desinfección de donde se tiene como resultado que: los operadores o técnicos de la Junta Administradora de Agua Potable Regional Oriental Mulaló - Joseguango Bajo-Aláquez que se encargan de la desinfección lo realizan con hipoclorito de calcio en una concentración del 70%, este químico es en forma granular es decir necesita ser disuelto en agua. Actualmente se coloca aproximadamente 300 gr de hipoclorito de calcio en el reservorio de agua de distribución en un intervalo de 2 días a la semana, sin ayuda de algún dispositivo o equipo electrónico que permita saber si la dosis

aplicada es la correcta o si el agua está en óptimas condiciones para ser potable o bebible.

La situación actual no permite al usuario una seguridad fiable de beber el agua directamente de su toma domiciliaria, además en ocasiones la dosis de hipoclorito de calcio es excesiva y el agua mantiene un olor fuerte a dicho químico lo que a su vez puede generar infecciones en el usuario final. Adicionalmente el caudal de agua de ingreso es excesivo, por ende, ocasiona rebose o desperdicio del líquido vital.

3.2.5 Diseño del sistema de dosificación

La elección de los equipos o elementos para la implementación se realizó en base al diagrama de bloques de la figura 11, para lo cual se efectúa un análisis a las características de cada uno de los dispositivos y/o equipos para elegir la mejor opción y que el sistema sea fiable.

3.2.5.1 Análisis de equipos

Sensores de nivel

Los sensores o transductores de nivel permiten obtener el volumen de agua que está presente en el tanque principal de distribución y de igual manera el nivel del tanque de la solución con hipoclorito de calcio, lo que permite indicar al operador si ya es necesario realizar una nueva mezcla de la solución de cloración, En el mercado existe varios tipos de dispositivos que pueden realizar la obtención del nivel de líquidos en general. En la tabla 6 se describe algunos tipos de transductores, que se utilizan uno en el reservorio de distribución de agua clorada y el segundo sensor se coloca en el tanque dosificador del hipoclorito de calcio.

Tabla 6. Comparación sensores de nivel.

Aspectos	Sensor Ultrasonico	Fotoeléctrico	Piezorresistivo	Resistivo flotador
Modelo	IRU-5000	SENSOR FS-IR02	HDL300	Mac 3
Señal de salida	4 – 20 mA 0 – 2.5 V 0 – 5V	0.1 – 4.6 V	4 – 20 mA 1 – 5V 0 – 10V RS485	0-60 Ohms
Material	Polycarbonato y Poliéster	Polycarbonato	Cable transpirable de goma y núcleo 316L	Polipropileno
Distancia de medición (m)	0.1 – 2.0 m	0.2 - 6m	0 – 5m	1- 100m
Voltaje de operación (v)	12 – 28 V	3.3 – 5 V	12 – 28 V	3.3 – 60 V
Corriente de consumo (mA)	75mA	12mA	85mA	4mA
Temperatura de trabajo (°C)	-40 a 60 °C	-25 a 105 °C	-10 a 70 °C	0 a 50 °C
Protección (IP)	IP65	IP 56	IP68	IP56
Costo	\$490,00	\$32	\$95	\$20

Elaborado por: El investigador basado en [30],[31],[32],[33].

Se toma en cuenta las características de la tabla 6, como son el grado de protección, la corriente de consumo y el rango de medición, el sensor que se acoplan al presente proyecto es el tipo piezorresistivo HDL-300 con un rango de medición entre 0 y 5 metros, un IP para entornos industriales y consumo de energía máximo de 85mA, se considera también que este tipo de sensor no requiere conocimientos avanzados para su manipulación, y facilita el uso del sistema a los operadores, con estos parámetros técnicos adecuados el sistema tendrá un funcionamiento óptimo.

Sensores de pH

El sensor de pH, es un instrumento utilizado para medir la acidez de una solución, el pH indica los niveles de concentración de iones de hidrogeno presentes en dicha solución. Para este proyecto la solución a medir será el agua potable, el pH es uno de los parámetros importantes que permite establecer la calidad de agua para el consumo humano. En la tabla 7 se muestra un análisis de los sensores con especificaciones técnicas para una mejor elección.

Tabla 7. Sensores de pH

Sensor	SEN0161	SEN0169	PH- LGBPHT
Señal de salida	0- 420mV	0-420mV	0-10v
Material	Plástico	Plástico	Polietileno
Rango de medición	0-14 pH	0-14pH	0-14pH
Voltaje de operación (v)	5 V	5 V	12-24V
Tiempo de respuesta	< 1min	< 1min	250ms
Temperatura de trabajo (°C)	0-60°C	0-60°C	-20°C-80°C
Precisión	+/- 0.1 pH(25°C)	+/- 0.1 pH(25°C)	+/- 0.1
Disponible mercado nacional	Si	Si	No
Grado de protección IP	IP 56	IP56	IP 66
Longitud de la sonda o electrodo.	1m	1m	1.5m
Costo	\$50	\$55	\$140

Elaborado por: El investigador basado en [34],[35].

Se considera las características técnicas de cada sensor de pH, se evidencia la igualdad en parámetros importantes como la precisión, rango de medición y tiempo de respuesta, la principal diferencia es el nivel de protección que ofrece cada sensor, se analiza que la aplicación es en el ámbito industrial la mejor opción es el sensor pH-LGBPHT con un IP 66, lo que proporciona alta durabilidad y funcionamiento.

Sensores de caudal

El sensor de caudal es un dispositivo que mide la velocidad del flujo de líquidos o aire que circulan en un punto. Para el proyecto cumple la función de medir la velocidad del agua a través de una tubería que permite al operador saber si el caudal de ingreso está acorde a los requerimientos del diseño. Para lo cual en la tabla 8 indica una comparativa técnica que permite seleccionar el sensor adecuado para la implementación en el sistema.

Tabla 8. Comparativa sensores de caudal

Aspectos	Sensor Turbina	Electromagnético	Ultrasónico
Modelo	YF-DN50	Caudalímetro SM2404	TUF-2000H
Señal de salida	0-5V	1-5V	1-5V
Material	Polímero	Acero inoxidable	Aluminio
Rango de medición	10- 300 l/min	5-600 l/min	20-500 l/min
Voltaje de operación	5 – 18 V	18-32 V	24V
Corriente de consumo	15mA	< 150 mA	20mA
Temperatura de trabajo	-25 a 80°C	-20 a 80 °C	-30°C a 90°C
Protección (IP)	IP65	IP 65	IP65
Precisión	+/- 10%	+/- 0,8 %	+/- 1%
Presión máxima	17 bar	16 bar	10 bar
Costo	\$50	\$425	\$340

Elaborado por: El investigador basado en [36],[37]

Para la elección del sensor de caudal para la tubería principal de ingreso, se toma en cuenta uno de los parámetros principales que es el rango de medición debido a que el caudal de ingreso al reservorio es de aproximadamente 150 l/min y se considera que el sensor electromagnético SM2404 posee un rango de 5 a 600 l/min estará sobre dimensionado al igual que el sensor ultrasónico TUF-2000H, el sensor que mejor optimiza esta capacidad es el sensor tipo turbina YF-DN50 con un rango de 10-300 l/min, además que el material es apto para instalaciones de ambiente industrial.

En el proyecto se requiere también de sensores de caudal para el sistema de dosificación de cloro, es decir para la administración de la solución de hipoclorito de calcio en el agua a desinfectar, en la tabla 9 se muestra una comparación de sensores adecuados para este proceso.

Tabla 9. Comparativa sensores de caudal

Aspectos	Sensor	Turbina	Turbina	Turbina
Modelo		YF-S401	YF-S201C	YF-S402C
Señal de salida		0-5V	0-5V	0-5V
Material		Plástico	Plástico	Plástico
Rango de medición		0,3- 6 l/min	1-30 l/min	0,3-10 l/min
Voltaje de operación	de	5 – 12 V	3.5 -24 V	3,5-12V
Corriente de consumo	de	15mA	15 mA	15mA
Diámetro de conectores	de	7 mm	13 mm	10mm
Temperatura de trabajo	de	<80°C	-20 a 80 °C	0 a 80°C
Precisión		+/- 5%	+/- 5 %	+/- 3%
Presión máxima		<0,8 MPa	2MPa	<0,35 MPa
Costo		\$10	\$8	\$12

Elaborado por: El investigador basado en [36]

Para la dosificación del hipoclorito de calcio se necesita un caudal máximo de 300ml/min y además la manguera de la bomba dosificadora es de 6.4 *2.4 mm, lo que hace ideal al sensor de flujo YF-S401 para medir caudales bajos y que no se encuentre sobredimensionado el sensor.

Sensor de temperatura

El sensor de temperatura es un transductor encargado de medir dicha variable en el agua del tanque de distribución principal, en la tabla 10 se analizan varias opciones que permiten elegir el más adecuado para el sistema, se toma en cuenta que todos los sensores son sumergibles en el agua.

La mejor opción para obtener la temperatura es el sensor tipo sonda LM35, a pesar de no ser un dispositivo de uso industrial el material de recubrimiento garantiza su durabilidad, además de ser compatible para cualquier controlador, su grado de precisión es adecuado y para el proyecto es necesario su alta durabilidad con un correcto funcionamiento.

Tabla 10. Comparativa sensores de temperatura

Dispositivo		DS18B20	SDI-12	SONDA LM35
Aspectos				
Voltaje de operación	de	3-5.5V	7-16V	4-30V
Tiempo de respuesta	de	750ms	1000ms	1000ms
Salida		Digital	Analógica	Analógica
Rango de temperatura	de	-55°C-125°C	-40°C-60°C	-55°C- 150°C
Precisión		+/- 0.5%	+/- 0.1%	+/- 0.4%
Grado de protección	de	IP68	IP68	IP68
Longitud del cable	del	1m	0,7m	1m
Costo		\$ 10	\$8,5	\$8,5

Elaborado por el investigador basado en [34]

Electroválvula

Una electroválvula o válvula solenoide es un dispositivo utilizado para permitir o bloquear el flujo de líquidos en un circuito o tubería. La apertura o cierre de esta válvula se realiza por un campo magnético, generado por una bobina que atrae un embolo, generalmente poseen dos posiciones o estados, abierto y cerrado, o todo y nada[18] .

La función de la electroválvula es permitir o bloquear el flujo de agua al ingreso del reservorio para que no exista un desperdicio de agua potable cuando el reservorio este en su máxima capacidad, en la tabla 11 se muestra diferentes opciones de electroválvulas para realizar este control.

Para seleccionar la electroválvula es importante el diámetro interior para la conexión a la tubería principal que es 65mm, la electroválvula solenoide 251BM es la mejor opción, por su diámetro y además el rango de caudal es muy amplio, de igual forma se considera el voltaje de trabajo que es de 24 voltios de corriente continua que permite reutilizar la fuente principal.

Tabla 11. Análisis de electroválvulas

Dispositivo Aspectos	Electroválvula de diafragma VYR-615010	Electroválvula CEPEX 210	Válvula solenoides 251BM
Voltaje de operación	24 VAC	24 VAC	24VDC
Rango de presión	1-12 bar	0,7-10 bar	1 – 10 bar
Temperatura de trabajo	2-80°C	0-60°C	<52°C
Diámetro interior	50mm	50mm	65mm
Material	Nylon 6,6 y 30% fibra de vidrio	Nylon reforzado	Nylon reforzado
Rango de caudal	38- 240 l/min	8-780 l/min	80 -1000 l/min
Costo	\$ 113	\$104	\$145

Elaborado por el investigador basado en [38], [39]

Bomba Peristáltica

La bomba peristáltica es un equipo tipo hidráulico que transporta diferentes fluidos de un lugar a otro. La utilización de este tipo de bomba en el proyecto es para realizar la inyección en pequeñas cantidades del hipoclorito de calcio o solución madre en la tubería de ingreso al reservorio, esta cantidad no debe superar los 1000 mililitros por minuto (ml/min), de tal manera que en la tabla 12 se muestra varios modelos de bombas que pueden ser implementados en el sistema.

Tabla 12. Análisis de bombas de agua

Dispositivo Aspectos	Watson-Marlow 520U/REH	JHPUMP 304K/BT	JHPUMP MN2/ZL
Voltaje de operación	115 VAC	6-36VDC	12VDC
Material estructura	Sulfuro de fenileno (PPS)	Nylon (PA66)	Acetal (POM)
Material rodillo	Acero inoxidable	Plástico suizo de alta función	Acetal (POM)
Tipo de motor	Motor sin escobillas	Motor a pasos	Motor de engranaje
Rango de caudal	0- 450 ml/min	0-1500 ml/min	0 -600 ml/min
Costo	\$ 340	\$92	\$40

Elaborado por: el investigador basado en [40]

Por medio de la tabla 12 se toma en consideración los parámetros de voltaje, caudal y tipo de motor. El tipo de bomba adecuado es la segunda opción “JHPUMP304 K/BT”

debido a que el voltaje de trabajo variable 6-36 voltios de corriente continua y por esta razón es alimentado por la fuente principal de 24 voltios, el caudal de diseño máximo es aproximado de 100 ml /min por lo tanto cumple este requisito, finalmente el tipo de motor a pasos que controla la bomba permite tener una mejor precisión al momento de realizar el control de dosificación.

Comunicación Inalámbrica

La comunicación inalámbrica se utiliza para transmitir los datos obtenidos por los sensores hacia los usuarios finales, los cuales van hacer los operadores encargados de la distribución del agua potable. Mediante la tabla 13 se realiza una comparación de las principales características de las tecnologías de comunicaciones inalámbricas para seleccionar la más adecuada para el proyecto.

El envío de información permitió mantener al operador alerta cuando existió perturbaciones en el sistema de dosificación, por lo cual logro realizar los ajustes necesarios para que el sistema vuelva a la normalidad.

Tabla 13. Comparación de tecnologías de comunicación inalámbrica

Tecnología	WIFI	WIMAX	GSM
Aspectos			
Estándar	IEEE 802.11	IEEE 802.16	IMT 2000
Velocidad de transmisión	11Mbps-1,25Gbps	100Mbps	2Mbps
Alcance máximo	150m	50000m	Depende la cobertura
Frecuencia de operación	2.4-5.8 GHz	2.3-11 GHz	1900-2100MHz
Ancho de banda	20/40/80Mbps	50-70Mbps	4.8Mbps
Modulación	PSK-OFDM	OFDM	QPSK-16QAM
Tecnología de acceso	CSMA-CA	DAMA-TDMA	CDMA

Elaborado por: el investigador basado en [41]

Entre las diferentes tecnologías se ha optado por utilizar la tecnología GSM para la transmisión de datos principalmente por la cobertura que ofrece, debido a que el lugar de emisión de datos posee buena cobertura de señal para esta tecnología. Además, que

por requerimiento de la institución el sistema es más útil y eficaz si la información es recibida en el personal encargado de la distribución del agua potable.

Tarjeta inalámbrica

Con la tecnología selecciona GSM que es el Sistema Global para las Comunicaciones Móviles (GSM), es un estándar para definir medios de comunicación móvil como mensajería de texto y llamadas telefónicas, de todas las tecnologías celulares usadas en la actualidad GSM es la más extendida[34]. Esta tecnología es utilizada para enviar la información hasta el usuario final u operador de la institución para lo cual en la tabla 14 se realiza la comparación de las tarjetas que pueden ser utilizadas en el sistema.

Tabla 14. Comparación de tarjetas de comunicación inalámbrica

Tecnología	SIM800	SIM900
Aspectos		
Bandas de operación	850-900-1800-1900MHz	850-900-1800-1900MHz
Tipo de comunicación	Serial	Serial
Antena	Antena externa 50 ohm	Antena externa 50 ohm
Consumo modo sleep	0,7 mA	1mA
Transferencia de datos	85,6kbps	85,6kbps
Peso	1,35gr	3,4gr
Costo	\$20	\$35

Elaborado por: el investigador basado en [42], [43]

En la tarjeta SIM 800 una de las ventajas sobre la SIM 900 es el consumo en modo sleep de 0,7 mA, y su peso relativamente bajo 1,35gr, además que es una versión mejorada que permite aumentar el rango de conectividad, por estas razones la tarjeta adecuada es la SIM 800 que se utiliza para enviar un mensaje de texto a varios usuarios de los parámetros como el PH, temperatura y nivel del agua.

Controlador lógico programable (PLC)

El controlador lógico programable es el encargado de recibir e interpretar los datos obtenidos por los sensores para realizar el control de la dosificación de cloro al sistema de agua potable, el PLC es usado en el ámbito industrial ya que posee varias características que permiten que su sistema sea robusto y el adecuado para trabajar en

este tipo de proyectos, en la tabla 15 se presentan varios dispositivos con las características más relevantes que se ajustan al proyecto.

Tabla 15. Comparación de las características de PLC

Aspectos	Omron	Siemens	Industrial Shieds	Industrial Shieds
Modelo	CJ2M-EtherNet/IP CPU33	PLC s7-1200 CPU 1211C	PLC ARDUINO ETHERNET 21	PLC ARDUINO ETHERNET 19R
Entradas/salidas	hasta 40 unidades I/O	12 I/O 6 entradas 4 salidas	21 I/O 13 Entradas 8 Salidas	19 I/O 6 Entradas 11 Salidas
Capacidad del programa	20 k pasos	30KB	8KB	8KB
Comunicación	Rs-232 Rs-422A Rs-485	Profinet	Rs-232, Rs-485 I2C, SPI, TTL Modbus	Rs-232, Rs-485 I2C, SPI, TTL Modbus
Software	CX-Orne	Tia Portal	IDE Arduino	IDE Arduino
Requiere módulos E/S	Si	Si	No	No
Hardware y Software libre	No	No	Si	Si
Costo aproximado	\$1534,80	\$690	\$ 452,96	\$538,32

Elaborado por: El investigador, basado en [44],[45],[46]

Los cuatro dispositivos revisados en la tabla 15 de diferentes marcas se enfocan en un entorno de desarrollo industrial con diferentes características, para el proyecto se han tomado los siguientes criterios:

- Diferentes tipos de comunicación
- Entradas mínimas 3 analógicas 4 digitales
- Salidas digitales 2
- Salidas pwm mínimo 2
- Software libre

El PLC Arduino Ethernet 21 relativamente nuevo en el mercado, soporta varias comunicaciones sin la necesidad de módulos externos, además de poseer suficientes

entradas y salidas para expandir un control industrial pequeño, este dispositivo es el que mejor se acopla para la implantación del sistema con una gran ventaja por ser de software libre sin mencionar que también es de hardware libre.

Sistema de abastecimiento de energía

El sistema de abastecimiento de energía para el funcionamiento del proyecto se diseña con los siguientes criterios:

- Consumo total de energía de los dispositivos.
- Horas promedio de luz solar en el lugar de instalación.
- Horas de funcionamiento autónomo.

En la tabla 16 se observa el consumo de todo el sistema, se considera la potencia máxima de cada dispositivo según la hoja de datos correspondiente.

Tabla 16. Consumo diario de los dispositivos

CONSUMO DE POTENCIA DIARIA					
Dispositivo	Voltaje (V)	Potencia Máxima(W)	Tiempo de uso(H)	Cantidad	Energía Total (Wh)
Bomba peristáltica	24	25	12	1	300
Sensor de flujo	12	0,288	12	1	3,456
Sensor de pH	24	0,8	12	1	9,6
Sensor de nivel	12	0,15	12	2	1,8
Electroválvula	24	24	2	1	48
M-Duino PLC	24	30	12	1	360
Sensor DS18B20	5	0,0075	12	1	0,09
GSM modulo	12	12	1	1	12
	Potencia Hora	92,2455		Energía diaria (Wh)	734,946

Elaborado por: El investigador

Con el total de energía en vatios hora calculados en la tabla 16, para el diseño del abastecimiento de energía se recomienda adicionar un 10% al total de la energía, esto por las pérdidas que genera el sistema[47], mediante:

$$E_{cct} = E_{cc} + 10\% \quad (3.1)$$

Donde:

$$E_{cct} = \text{Energía total diaria de consumo para diseño}$$

E_{cc} = Energía diaria real de consumo

De la fórmula 3.1 se obtiene:

$$E_{cct} = 734,946 + 73,4 = 808,34Wh$$

A partir del consumo diario se obtiene la corriente necesaria para que el sistema sea autónomo durante un día con la siguiente fórmula.

$$P = V * I$$

Donde:

P.- potencia en un día

V.- voltaje del sistema diario

I.- corriente del sistema diario

Se obtiene:

$$I = \frac{P}{V} = \frac{808}{12} = 67,36A$$

La corriente necesaria para que el sistema se mantenga funcionando cuando no exista luz solar durante 1 día es de aproximadamente 67,36 amperios, de acuerdo a este parámetro en la tabla 17 se muestra algunas baterías que pueden abastecer el sistema.

Tabla 17. Comparativa de baterías para el sistema de energía.

Aspectos \ Marca	RITAR RA12-55 Ah	RITAR RA 12-100Ah
Amperaje	55Ah	100Ah
Voltaje	12V	12V
Capacidad de descarga	C10	C20
Libre de mantenimiento	Si	Si
Años de vida	12	12
Peso	16,5kgr	16,5 kgr
Costo	\$210	\$260

Elaborado por: El investigador basado en [48],[49].

De acuerdo a la tabla 17 la batería eficiente para el sistema es la serie RA 12-100Ah marca RITAR, este tipo de batería AGM está compuesta GEL lo cual lo hace ideal por su libre mantenimiento y es recomendable la utilización de esta batería para el proyecto, con la implementación adicional de un controlador de carga la batería no tiene descargas constantes, mantiene una capacidad de reserva mayor, que aumenta la

durabilidad de la batería, además la corriente suministrada es adecuada para alimentar todo el sistema.

Convertidor Boost DC-DC

El convertidor Boost es un convertidor DC a DC que obtiene a su salida una tensión continua mayor que a su entrada. Es un tipo de fuente de alimentación conmutada que contiene al menos dos interruptores semiconductores y al menos un elemento para almacenar energía[50].

El convertidor permite obtener un voltaje de 24 voltios a partir de los 12 voltios que proporciona la batería, los 24 voltios alimentan varios dispositivos del sistema como el PLC, bomba peristáltica, electroválvula, sensor de pH, en la tabla 18 se realiza una comparativa entre los diferentes convertidores.

Tabla 18. Comparativa de convertidores elevadores de voltaje

Convertidor Aspectos	Boost step-up DC-DC 10-50v 10A-Prepo	Módulo Step-up XL6009	Fuente Step Up Dc-dc Boost 10A
Voltajes mínimos de entrada	8,5-48V	4,3-32V	6-32 V
Voltajes de salida	10-50 V	5-52 V	6-55 V
Corriente máxima de entrada	10 A	4A	10 A
Corriente máxima de salida	0,2-10 A	2.5 A	7A
Eficiencia	96%	92%	97,6%
Potencia máxima	250 W	20 W	200W
Dimensiones	7*3,6*1,8 cm	6,98*3,8*1,5 cm	7*3,9*3,2 cm
Costo	\$ 17	\$7	\$ 15

Elaborado por: El investigador basado en [51],[52].

El parámetro más importante para este convertidor es la corriente y la eficiencia que entrega, el más óptimo para alimentar los equipos es la tercera opción el Step Up de 10A con una eficiencia del 97,6% es decir perdidas muy bajas, además de la corriente máxima de 7 amperios recomendable para el uso de los dispositivos que consumen un máximo de 4 amperios a 24 voltios.

Panel Solar

El panel solar es el encargado de suministrar energía al banco de baterías, es decir permite la carga en el transcurso del día, al mismo tiempo asegura que todo el sistema electrónico funcione durante la noche, este sistema de generación de energía se utiliza debido a que en el lugar de implementación no existen una toma de energía eléctrica convencional es decir 110 o 220 voltios, en la tabla 19 se realiza el análisis para obtener el panel solar del sistema.

Tabla 19 Análisis de paneles solares

Aspectos \ Marca	Eco Green Energy	Greystone	Greystone
Tipo de panel	Policristalino	Monocristalino	Policristalino
Voltaje	12 V	12 V	12 V
Potencia	110 W	100W	100 W
Eficiencia	19 %	15%	17%
Grado de protección	IP 65	IP65	IP65
Costo	\$ 78,40	\$ 80	\$ 90

Elaborado por: El investigador basado en [53],[54].

Regulador o controlador de carga

Debido a que el buen estado de la batería es fundamental para el funcionamiento correcto de todo el sistema y a que el costo de la batería o baterías puede significar un porcentaje significadito del costo total de la instalación, es necesario disponer del controlador de carga su función es interrumpir el paso de la corriente del generador a la batería[47]. En la tabla 20 se observa la comparativa de los controladores de carga.

Tabla 20. Comparativa de controladores de carga.

Aspectos \ Controlador	Morningstar SHS-6	Morningstar SS-10L-12	Controlador de carga WSS 601
Voltaje	12 V	12V	12-24V
Corriente máxima de salida	6 A	10 A	30 A
Tecnología	PWM	PWM	PWM
Pantalla de visualización	No	No	Si
Potencia máxima de ingreso	30 W	100 W	130 W
Costo	\$ 50,40	\$ 120,20	\$ 60

Elaborado por: El investigador basado en [53],[55].

El controlador de carga es un dispositivo muy importante para el cuidado de la batería y del sistema de alimentación en general, por lo cual se tiende a elegir el dispositivo que proporciona la información visualmente es decir el controlador de carga WSS 601 que posee una pantalla pequeña donde se muestra el estado de la batería, además que se puede configurar el voltaje de carga máxima y el nivel de voltaje mínimo que puede llegar la batería, proporciona una entrada máxima de 130W ideal para el panel solar que se utiliza de 100W.

2.3.5.2 Cálculos de diseño

Para el diseño del sistema se toma en cuenta la norma de diseño para sistemas de abastecimiento de agua potable, disposición de excretas y residuos líquidos en el área rural CO 10.7 – 602, que desde ahora en adelante será denominada norma, para lo cual se desarrolla los siguientes cálculos que son utilizados para el sistema de control de la dosificación del hipoclorito de calcio.

Población de diseño

La población de diseño se calculará a base de la población presente determinada mediante un recuento poblacional. En función de las características de cada comunidad, se determinará la población flotante y la influencia de esta en el sistema a diseñarse[56]. Para el cálculo de la población futura, se empleará el método geométrico:

$$Pf = Pa * (1 + r)^n \quad (3.2)$$

En donde:

Pf: Poblacion futura (habitantes)

Pa: Poblacion actual (habitantes)

r: Tasa de crecimiento geométrico de la población expresada como fracción decimal

n: Periodo de diseño(años)

Los datos obtenidos según el registro de la junta administradora de agua potable regional oriental Mulaló-Joseguango bajo-Aláquez en la comuna “San Ramón de la

Chilintosa” se encuentran 170 familias, el diseño está estimado a 10 años, se considera que existe 5 miembros por familia y con una tasa de crecimiento del 0,018%.

Se obtiene de la fórmula 3.2:

$$Pf = Pa * (1 + r)^n$$

$$La\ poblacion\ actual = 170\ familias * 5\ miembros = 850\ habitantes$$

$$Pf = 850 * (1 + 0,018)^{10} = 1016\ habitantes$$

Cálculo del caudal medio anual: Caudal de agua, incluyendo pérdidas por fugas, consumido en promedio, por la comunidad. Para este cálculo se toma en cuenta la dotación futura de la población que será (120 l/hab*día) de acuerdo a la tabla de niveles de servicio establecida en la norma y el porcentaje de fugas en 20%.

$$Q_m = \frac{f * (Pf * D)}{86400} \quad (3.3)$$

En donde:

$$Q_m = \text{Caudal medio} \left(\frac{l}{s} \right)$$

f = factor de fugas

Pf = población al final del diseño

$$D = \text{Dotación futura} \left(\frac{1}{hab} * dia \right)$$

Reemplazando en la fórmula 3.3:

$$Q_m = \frac{f * (Pf * D)}{86400}$$

$$Q_m = \frac{1.2 * (1016 * 120)}{86400} = 1,693\ l/s$$

Cálculo del Caudal máximo diario: Caudal medio consumido por la comunidad en el día de máximo consumo, este cálculo permite realizar la dosificación correcta para un determinado tiempo.

El caudal máximo diario, se calculará con la ecuación:

$$QMD = KMD * Qm \quad (3.4)$$

En donde:

$$QMD = \text{Caudal máximo diario} \left(\frac{l}{s} \right)$$

KMD = Factor de mayoración máximo diario

El factor de mayoración máximo diario (KMD) tiene un valor de 1.25, para todos los niveles de servicio.

De la fórmula 3.4 se obtiene:

$$QMD = KMD * Qm$$

$$QMD = 1.6993 \frac{l}{s} * 1.25$$

$$QMD = 2,11 l/s$$

Para caudal de diseño es el 10% adicional entonces:

$$QMD = 2,11 \frac{l}{s} + 0,211 = 2,32 l/s$$

Caudal máximo horario: Caudal de agua consumido por la comunidad durante la hora de máximo consumo en un día.

El caudal máximo horario se calculará con la ecuación:

$$QMH = KMH * Qm \quad (3.5)$$

En donde:

QMH= Caudal máximo horario (l/s)

KMH= Factor de mayoración máximo horario

El factor de mayoración máximo horario (KMH) tiene un valor de 3 para todos los niveles de servicio y aplicando la fórmula 3.5 se obtiene:

$$QMH = 2,32 \frac{l}{s} * 3 = 6,9 l/s$$

Con los cálculos del caudal se establece el consumo de agua potable de la población y de la misma forma establecer el caudal de ingreso al tanque de distribución, en la tabla 21 se observa los resultados.

Tabla 21. Cálculos y requerimientos del caudal de ingreso

Datos calculados de acuerdo a la norma CO 10.7 - 602	2,32 litros / segundo	139 litros / minuto
Datos actuales del sistema de distribución	2,0 litros / segundo	120 litros /minuto
Requerimiento de la institución.	2,5 litros / segundo	150 litros /minuto

Elaborado por: el investigador

Desinfección del tanque reservorio

Para el sistema de cloración en primer lugar se realiza una desinfección del volumen o reservorio principal, esta desinfección se realiza previa a la puesta en marcha de cualquier sistema de cloración y en casos de emergencia cuando el sistema de dosificación de cloro está en mantenimiento o no se encuentra activo, se toma en cuenta los siguientes parámetros.

- Volumen de agua en el tanque
- Concentración de cloro en el volumen total
- Porcentaje de cloro libre del compuesto clorado

Con los parámetros establecidos y utilizando la siguiente formula se calcula el peso de cloro para la desinfección del tanque.

$$P = \frac{DxV}{10x \%C} \quad (3.6)$$

Sabiendo que:

P.- Peso de cloro

D.- Dosis de cloro

V.- Volumen de agua

%C.- Concentración del cloro granulado

Datos para el cálculo:

Volumen de agua en el tanque con su capacidad máxima de 37700 litros, la dosis de cloro para desinfección es de 50 mg / l, y la concentración de cloro granulado utilizado es del 70%.

De la fórmula 3.6 se tiene:

$$P = \frac{37700 \times 50}{10 \times 70} = 2692,85 \text{ gr de hipoclorito de calcio} \approx 2.7 \text{ Kgr}$$

Con esta cantidad del hipoclorito de calcio se disuelve en agua y se procede a realizar la desinfección de tanque, se deja reposar el agua con cloro por mínimo dos horas antes de ser distribuida. Se toma en consideración que para la cloración de emergencia la dosis de cloro es de 1,5 mg/l máximo, se observa a continuación un ejemplo.

Para cloración por emergencia con el volumen de agua a la mitad, se obtiene:

$$P = \frac{17000 \times 1,5}{10 \times 70} = 36.42 \text{ gr de hipoclorito de calcio} \approx 37 \text{ gr}$$

Es decir, con 37 gramos de hipoclorito de calcio puedo realizar cloración por emergencia, y en este caso el agua se mantiene reposada por mínimo de 10 minutos.

Cálculo de dosificación con hipoclorito de calcio

Para el cálculo de la cantidad de la cantidad de hipoclorito de calcio a utilizar depende de los siguientes factores:

- Tiempo de recarga de la solución madre
- Caudal máximo diario
- Concentración del cloro
- Dosis de cloro

A partir de la fórmula 3.6:

$$P = \frac{D \times V}{10 \times \%C}$$

En la cual el volumen de agua dependerá del tiempo aproximado de duración de la solución madre, este tiempo es expresado en segundos, el volumen depende del caudal máximo diario entonces se tiene:

$$V = C * t \quad (3.7)$$

En donde:

V.- volumen de agua total

C.- Caudal máximo diario

t.- tiempo de duración de la solución madre

Datos para el cálculo:

La solución madre tendrá una dosificación constante durante 7 días, con un caudal máximo diario de 2,5 l/s, entonces:

$$V = C * t$$

$$V = 2,5 \frac{l}{s} * 604800 s = 1512000 \text{ litros}$$

El volumen total reemplazamos en la fórmula 3.6 para obtener el peso de cloro.

$$P = \frac{DxV}{10x \%C}$$

$$P = \frac{1296000x1,5}{10x70} = 3.2 \text{ kg} \cong 7 \text{ libras}$$

Para el cálculo de la dosis es necesario establecer el volumen o capacidad del tanque que contiene el hipoclorito de calcio (solución madre), que es de 1000 litros, entonces:

$$Dosis = \frac{Volumen \text{ litros}}{Tiempo \text{ dia}} \quad (3.8)$$

De la fórmula 3.8 se tiene:

$$Dosis = \frac{1000 l}{7 dias} = 142 \frac{l}{dia} \cong 98 \frac{ml}{m}$$

La dosis que se inyecta al reservorio principal aproximadamente será de 98 mililitros por minuto, este dato es el Set Point para el sistema de control, se toma en cuenta que el valor será variable después de realizar las pruebas, la bomba dosificadora es la encargada de suministrar el caudal adecuado para cumplir con los requerimientos del sistema.

3.2.5.2 Fase de adquisición de datos

La fase de adquisición de datos comprende los siguientes elementos:

Sensor de temperatura

En esta sección de lectura de datos se utiliza un sensor de temperatura digital para medir la temperatura del agua dentro del reservorio de distribución y el valor medido se envía al dispositivo controlador PLC. El sensor utilizado es tipo sonda LM35 el cual proporciona una señal analógica lineal para enviar los datos al controlador por un solo cable, su alimentación es de 4 a 30 voltios, de acuerdo al ingreso de datos analógicos

del PLC es alimentado con 9V el sensor de temperatura, por lo que se requiere una regulación de voltaje en el anexo C se visualiza la hoja de datos técnicos del sensor.

Para la regulación de voltaje y acondicionamiento del sensor se diseña el circuito de la figura 15, se tiene un ingreso de voltaje de 12 V que proporciona la batería y un regulador de serie LM7809 para obtener un voltaje de salida de 9 VDC, con el que se energiza el sensor de temperatura LM35 y el cable de señal está conectado a un circuito no inversor con una ganancia.

Como se obtiene una señal lineal del sensor que cada 10 mili voltios representa 1 grado centígrado, se implementa un amplificador de señal para enviar la salida a la entrada analógica I0.7 del PLC. La programación para adquirir los datos del sensor se encuentra en el anexo A.

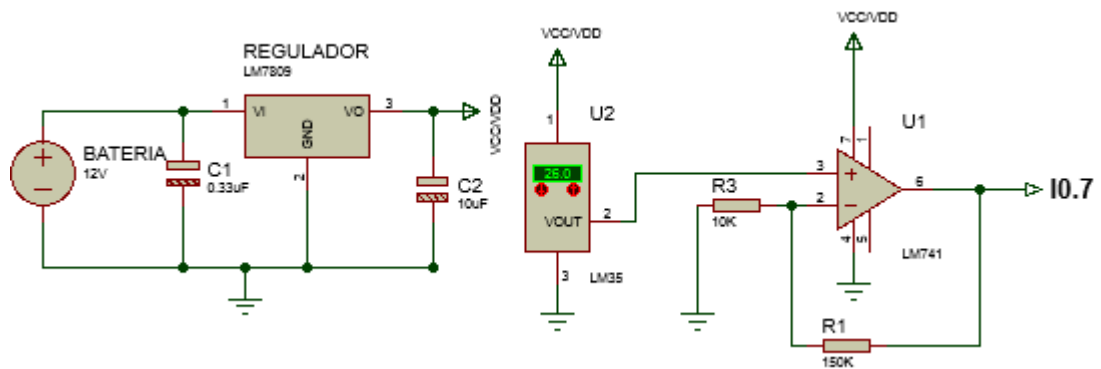


Figura 15. Circuito de regulación y acondicionamiento de voltaje para sensor de temperatura
Elaborado por: El investigador

Sensores de caudal

La lectura del caudal del agua de ingreso al reservorio y dosificación de cloro se realiza mediante los sensores YF-DN50 y YF-S401 de tipo turbina, funcionan con un voltaje de 12 VDC y requieren de un acondicionamiento electrónico. Su salida de pulsos es una onda cuadrada cuya frecuencia es proporcional al caudal, el factor de conversión de frecuencia (Hz) a caudal (L/min) varía entre modelos y depende de la presión, densidad e incluso del mismo caudal. Las señales se conectan a un circuito no inversor para amplificar su salida la cual es enviada a un opto acoplador para visualizar los pulsos obtenidos por el sensor y calcular el caudal, la señal de salida del opto acoplador

se conecta directamente a los pines I0.5 e I0.6 del PLC, como se visualiza en el circuito de la figura 16.

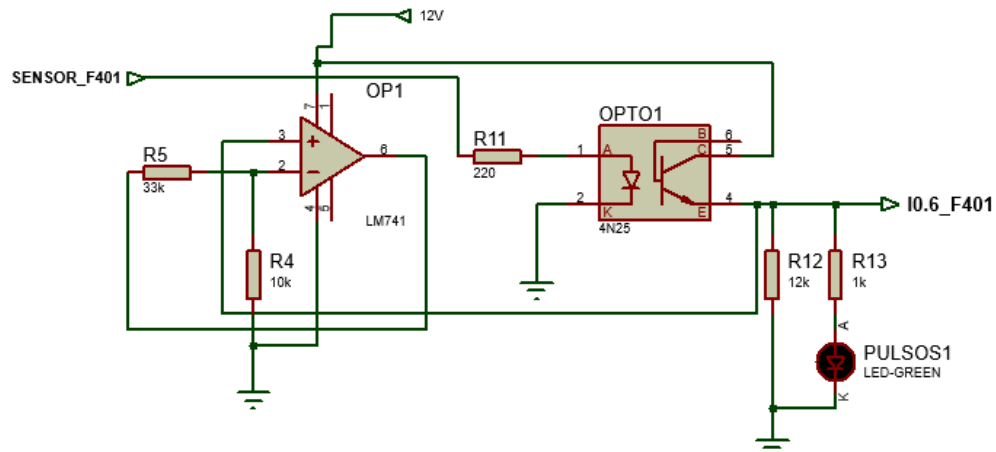


Figura 16. Circuito de acondicionamiento para los sensores de flujo
Elaborado por: El investigador

Para lograr una mayor precisión y obtener un sistema de control de lazo abierto bien calibrado, con la programación del anexo B se realiza una calibración de sensores y se obtiene el factor de conversión real a partir del número de pulsos que se generan durante un tiempo al pasar un cierto volumen de agua, se utiliza la fórmula 3.9 para hallar el factor de conversión.

$$K = \frac{\# Pulsos}{Volumen * 60 seg} \quad (3.9)$$

Donde:

K= factor de conversión real

#pulsos= número de pulsos del sensor en un tiempo t

Volumen= volumen de agua que fluye por el sensor en un tiempo t

Con los datos que se muestran en la figura 17 a y b, a partir de la fórmula 3.9 se obtiene el factor de conversión, el cual se utiliza en la fórmula 3.11 obtenida a partir de la fórmula 3.10 para tener como resultado el caudal real medido por el sensor, esta fórmula se implanta en la programación que se encuentra en el anexo A.

$$f(\text{Hz}) = K * Q (\text{L}/\text{min}) \quad (3.10)$$

$$Q \left(\frac{\text{L}}{\text{min}} \right) = \frac{f(\text{Hz})}{0,125} \quad (3.11)$$

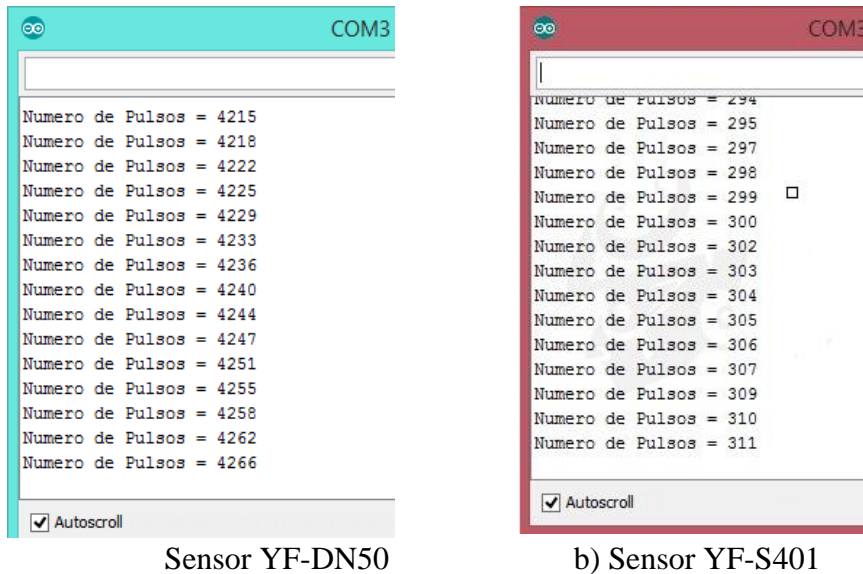


Figura 17. Datos obtenidos del sensor de caudal

Elaborado por: El investigador

Sensores de nivel

El nivel de agua en el tanque de solución madre y el nivel de agua en el reservorio principal, son un factor importante para que no exista desperdicio tanto como de la solución con hipoclorito de calcio y del agua descontamina, se utiliza el sensor HDL300 con una alimentación de 24 VDC y dispone de una salida analógica de 4-20mA que será acondicionada para la lectura del PLC a los puertos I0.8 e I0.9 respectivamente, en el anexo A se encuentra la programación de la lectura y condiciones aplicados al sensor de nivel dependiendo del tanque que se realiza la medición, en la figura 18 se muestra un diagrama de conexiones de los sensores al PLC.

Para convertir la señal de corriente en una de voltaje, que el PLC pueda interpretar mediante el conversor análogo digital se utiliza una resistencia de 250 Ohm, de tal forma que cuando la señal este en 4 mA se tenga 1 V y cuando la señal este en 20 mA

se tendrá 5V, se toma en cuenta que la medida máxima del sensor de nivel es de 5 metros.

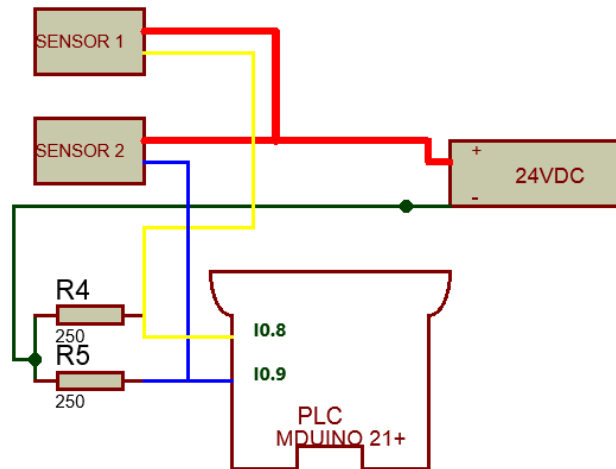


Figura 18. Diagrama de conexiones de los sensores de nivel.
Elaborado por: el investigador

Sensor de pH

Un factor para que el agua potable sea apta para el consumo humano es el pH o potencial hidrogeno, para lo cual se usa el sensor PH- LGBPHT posee una sonda y su circuito de acondicionamiento ver la figura 19, utiliza la fuente de 5VDC que posee el PLC y dispone una salida analógica de 0-3 voltios que se convierte en valores de pH en un rango de 0 a 14, se considera el rango admitido por la norma de 7.0 hasta 8.5.



Figura 19. Sensor de pH tipo sonda
Fuente: <https://bit.ly/2C7x9Xn>

El sensor se ubica dentro del reservorio de distribución del agua descontamina y la salida del acondicionamiento se conecta a la entrada analógica I0.10 como se muestra en la figura 20. La programación del PLC para adquirir los datos del sensor se observa en el anexo A.

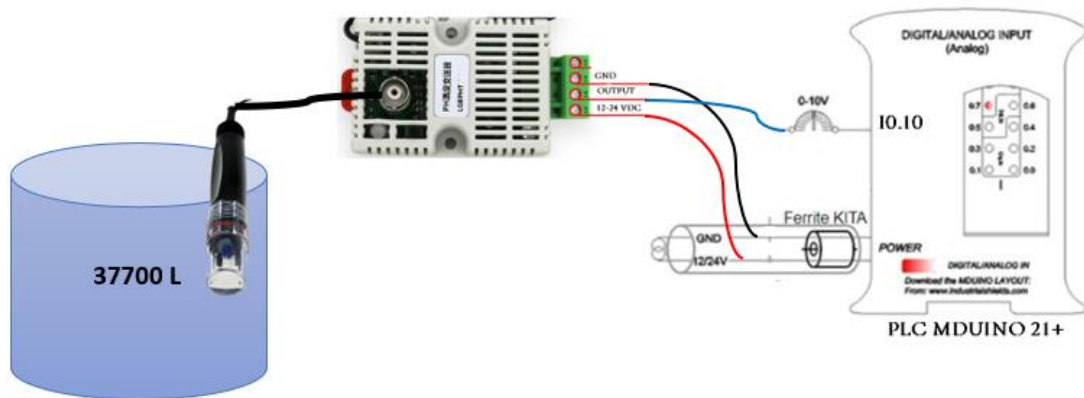


Figura 20. Diagrama de conexión sensor de pH
Elaborado por: el investigador

3.2.5.3 Fase de actuadores

La fase de actuadores comprende los siguientes elementos:

Electroválvula

La electroválvula es el dispositivo que permite el ingreso o bloqueo del agua hacia el tanque principal, una vez que el tanque sobrepase la capacidad de 37000 litros que representa el nivel máximo de 3 metros de altura, el PLC envía una señal para que la electroválvula se active y bloquee el paso del agua, de igual manera si el nivel de agua del tanque es inferior a 1.2 metros nuevamente permite que el agua ingrese al reservorio.

Para la activación de la electroválvula desde el PLC se necesita un circuito que permita amplificar la señal para protección de la salida digital Q0.0 la cual es la encargada de generar dicha señal, para ello se realiza el circuito como se muestra en la figura 21, con ayuda de un transistor TIP 122 su hoja de datos está en el anexo D, el transistor activa la bobina de la electroválvula y al añadir un diodo rectificador 1N5408 permite proteger el transistor. La señal enviada por el PLC se programa de acuerdo a los valores entregados por los sensores de nivel se puede observar la programación en el anexo A.

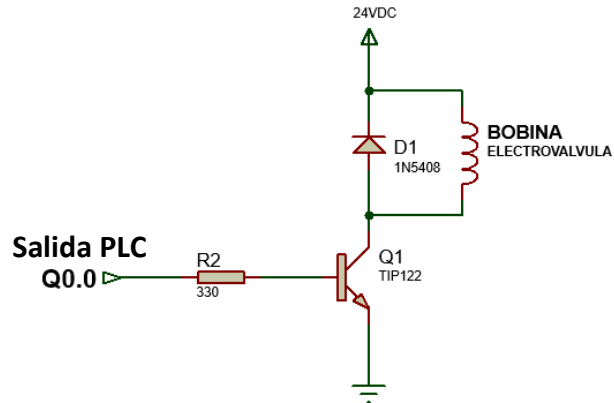


Figura 21. Circuito de activación para la electroválvula.
Elaborado por: El investigador basado en [57].

Bomba peristáltica

La dosificación del hipoclorito de calcio desde la solución madre se realiza mediante el control de la bomba peristáltica, se alimenta con 24 VDC y posee un motor a pasos tipo nema 23, para el control de éste tipo de motor se requiere un driver (DVR8825) que funciona con la señal enviada desde el PLC como se muestra en el esquema de conexiones de la figura 22. La bomba de dosificación deberá estar funcionando todo el tiempo, solo se detendrá automáticamente cuando los sensores de nivel envíen una señal de apagado.

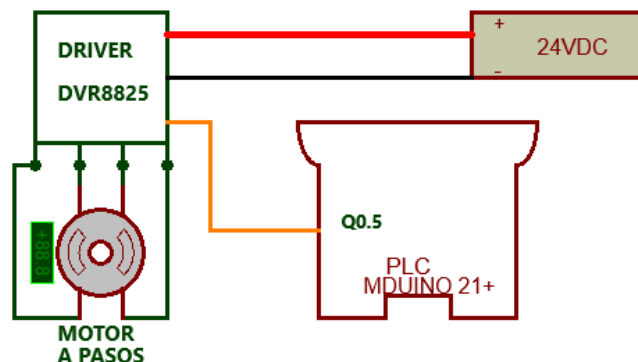


Figura 22. Circuito control de motor de la bomba
Elaborado por: el investigador

3.2.5.4 Diseño del sistema de control

Para el diseño del sistema de control que dispone la bomba peristáltica, encargada de la dosificación correcta del hipoclorito de calcio se toma en cuenta las siguientes consideraciones.

- Set point del sistema (flujo de agua)
- Velocidad del motor de la bomba peristáltica

El sistema de control que se implementa es de lazo abierto es decir la salida no es dependiente de la entrada, por lo cual se realiza la calibración del sensor de flujo para visualizar el caudal correcto de dosificación. Para la calibración se realiza utiliza la lectura del sensor YF-S401 y el promedio de los datos obtenidos para adquirir una constante de conversión como se muestra en la tabla 22.

Tabla 22. Muestreo del sensor YF-S401

Volumen en litros	Tiempo en segundos	Número de Pulsos	Constante (K)
1	60	4266	71,10
1	60	4211	70,18
1	60	4379	72,98
1	60	4202	70,03
2	60	8428	70,23
2	60	8418	70,15
1	60	4271	71,18
		Promedio	70,84

Elaborado por: El investigador

La constante que se obtiene en la tabla 22 permite al sensor YF-S401 adquirir un valor de caudal más exacto de la solución con hipoclorito de calcio, para su administración sobre el agua de ingreso al reservorio principal.

El set point es controlado por un potenciómetro que regula el caudal de dosificación mediante la modificación de la velocidad de la bomba dosificadora peristáltica, el caudal de salida se muestra en una pantalla LCD, dicho caudal será de acuerdo al cálculo que se obtiene en la fórmula 3.8 y tomando en cuenta las pruebas realizadas en campo.

El control del set point está conectado a la entrada I0.11 del PLC que es un potenciómetro de 10 kilo Ohm alimentado con 9V que genera una señal analógica

interpretada por el PLC desde 0 – 920 valores, dichos valores son mapeados y se convierten en la velocidad del motor de la bomba peristáltica, en la figura 23 se visualiza el esquema de esta conexión.

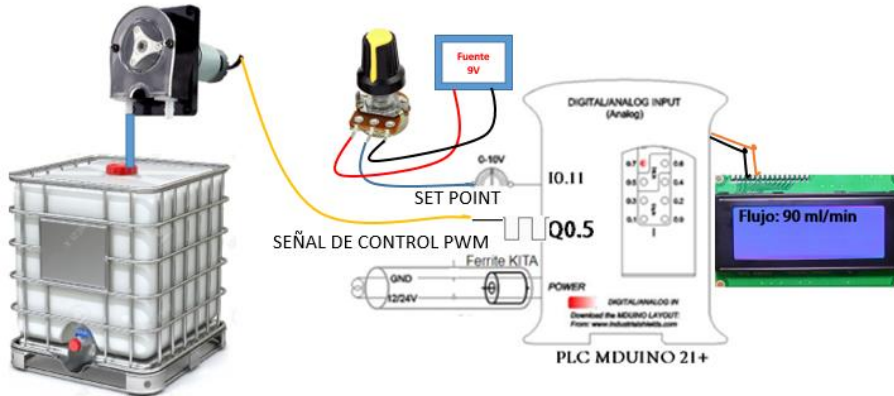


Figura 23. Esquema de conexión control de flujo con bomba peristáltica
Elaborado por: el investigador

Para la implementación de todo el sistema se diseña un esquema P&ID de acuerdo a la norma ISA 5.1 como se muestra en la figura 24, que indica todo el proceso que se realiza en la tubería principal de ingreso.

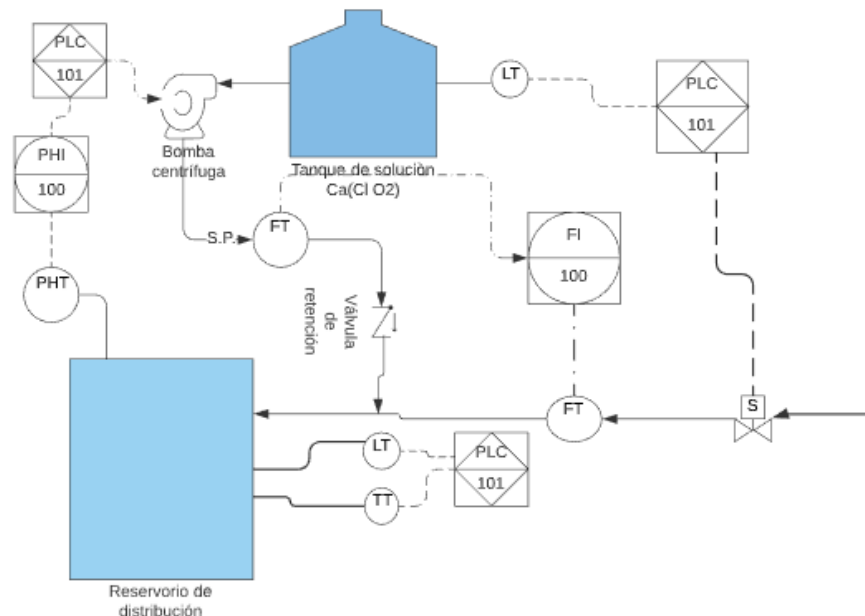


Figura 24. Esquema P&ID del sistema de dosificación de cloro.
Elaborado por: el investigador

3.2.6 Implementación del sistema de dosificación

Esquema del sistema

Para la implementación del sistema de dosificación de cloro en la figura 25 se muestra el esquema diseñado con referencia a los elementos del sistema como lo es la alimentación, sensores, la comunicación y la visualización de la información.

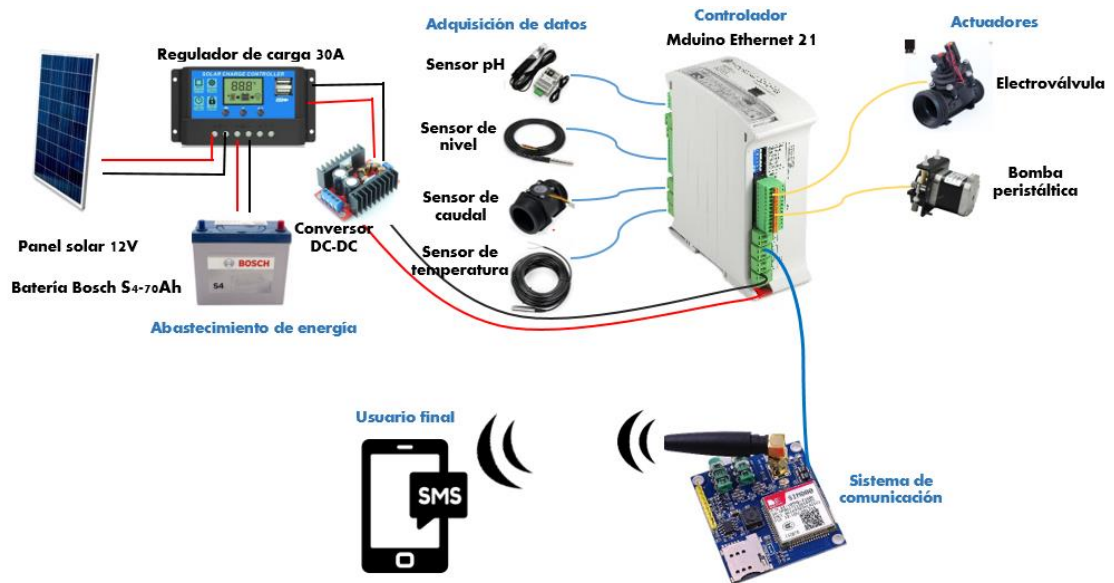


Figura 25. Diagrama de implementación del sistema de dosificación automático de cloro.

Elaborado por: el investigador

Previa la instalación en campo del sistema, se realizó la placa electrónica en donde se encuentran los circuitos de acondicionamiento para los sensores, la parte de control y potencia para los actuadores, además se implementó el sistema de comunicación GSM en la misma placa, adicionando salidas y entradas del PLC, el diseño esquemático del circuito se realizó en el software Proteus como se observa en la figura 26, del cual se procedió a realizar el diseño PCB para la implementación física y se muestra en la figura 27.

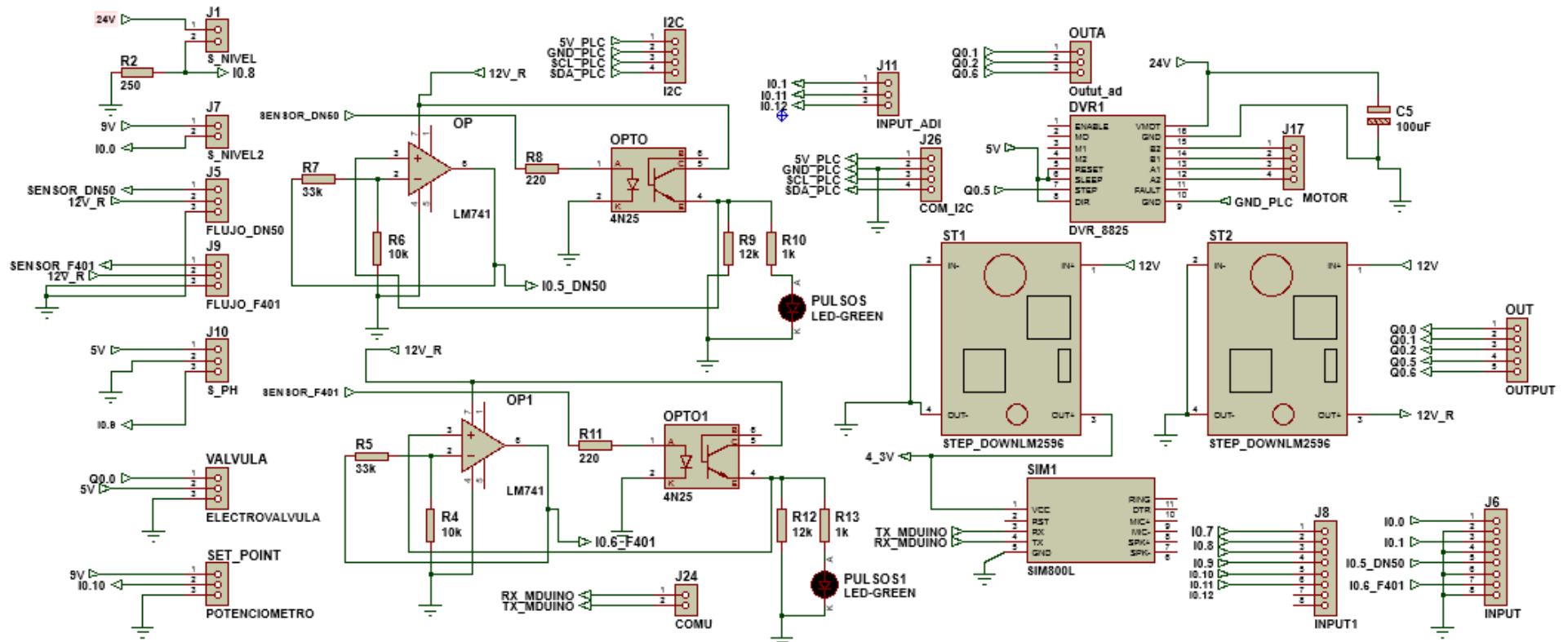


Figura 26. Diseño esquemático de la placa electrónica del sistema de dosificación automático de cloro.
Elaborado por: el investigador

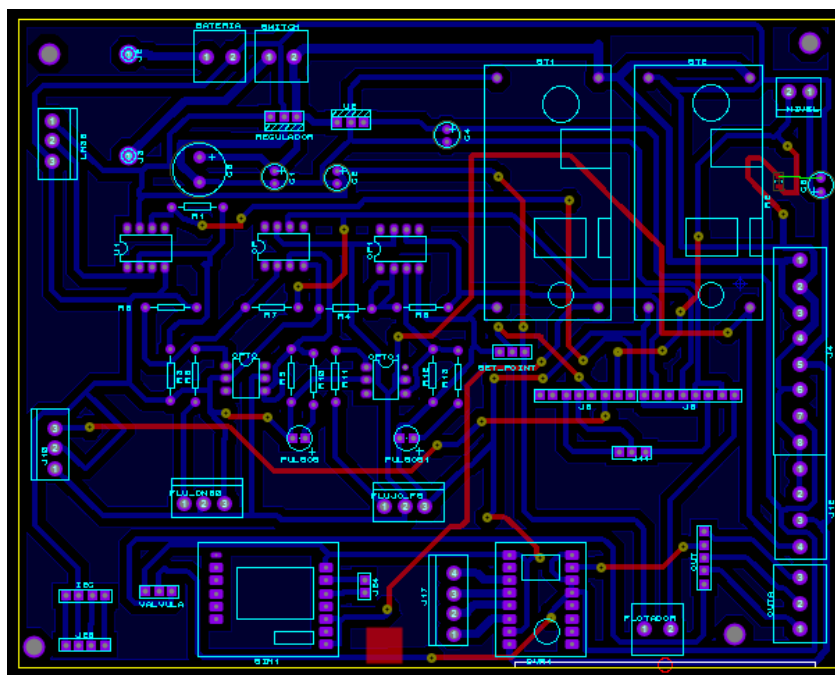


Figura 27. Diseño PCB del sistema de dosificación automático de cloro.
Elaborado por: el investigador

Se realizó el montaje de la placa a partir del diseño de la figura 26, con todos los dispositivos electrónicos de lo cual se obtuvo el montaje final como se observa en la figura 28.

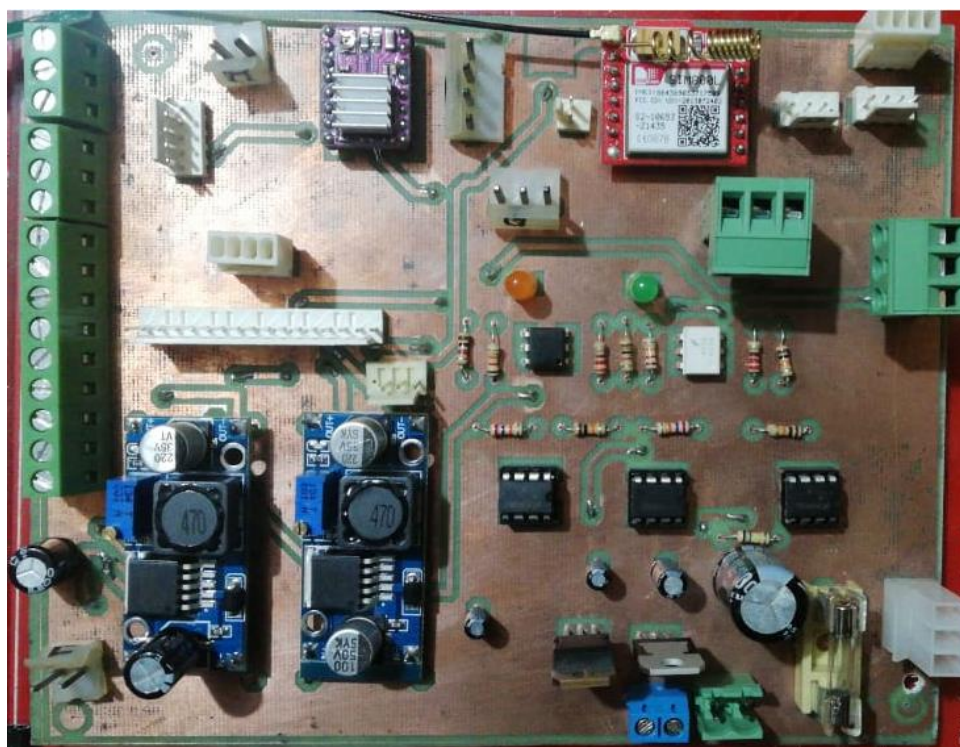


Figura 28. Montaje de dispositivos en la placa de control.
Elaborado por: el investigador

Se procede a realizar la implementación del sistema una vez reconocido el tanque principal de distribución como se visualiza en la figura 29, en la parte frontal se encuentra el tanque principal y en la parte posterior se observa el proceso de filtrado y almacenamiento del agua potable.



Figura 29. Tanque principal de distribución de agua potable

Se procedió a realizar una excavación de 50cm aproximadamente y así hallar la tubería principal de ingreso como se observa en la figura 30.



Figura 30. Tubería principal de ingreso al tanque reservorio.

La electroválvula o válvula solenoide que se utilizó en el sistema para bloquear o permitir el paso del agua se muestra en la figura 31 la cual se instaló en la tubería principal.



Figura 31. Válvula solenoide 251BM

La instalación final de la válvula se puede visualizar en la figura 32.



Figura 32. Instalación de la válvula solenoide.

Se procedió a instalar de igual manera en la tubería principal el sensor de flujo YF-DN50 como se muestra en la figura 33.



Figura 33 Instalación del sensor de flujo YF-DN50.

Para la instalación de los sensores de nivel, de temperatura y sensor de pH que se muestra en la figura 33, se utilizó un tubo guía de PVC para ubicar los sensores dentro del tanque principal con la finalidad que permanezcan fijos.



Figura 33. Sensor de nivel (1), sensor de temperatura (2), sensor PH (3).

La instalación final de los tres sensores dentro del tanque de distribución se puede observar en la figura 34.



Figura 34. Instalación de los sensores de nivel, pH, temperatura.

La instalación de la bomba dosificadora se realizó sobre el tanque de la solución de hipoclorito de calcio como se observa en la figura 35.

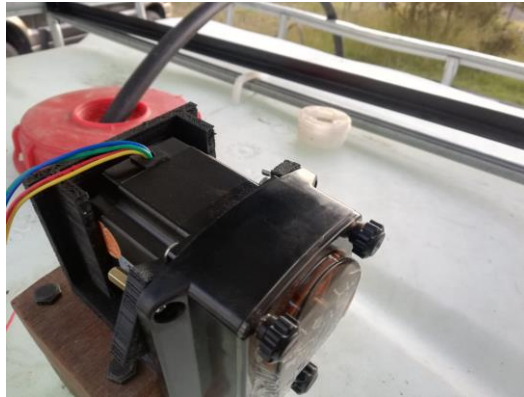


Figura 35. Instalación de bomba peristáltica dosificadora.

Una vez realizada la implementación de los sensores y actuadores, se procedió a la instalación del sistema de energía o alimentación que consta de un panel solar de 100W, la batería de 12V y el controlador de carga. Para lograr la máxima producción del panel solar se toma en cuenta[58]:

- Orientar los paneles hacia el sur.
- Darles la inclinación óptima según la latitud de la instalación.
- Evitar los obstáculos que proyecten sombras sobre los paneles.

La instalación del panel solar se realizó sobre el tanque de solución madre, se tomó en cuenta la latitud del lugar que es de -0.751 , para instalaciones con consumos constantes o similares a lo largo del año, es preferible optimizar la instalación para captar máxima radiación durante los meses invernales. Se utiliza inclinaciones iguales al valor absoluto de la latitud del lugar incrementado en 10 grados[59].

$$\beta = |\phi| + 10^\circ \quad (3.9)$$

Mediante la fórmula 3.9 con la altitud obtenida por el software Google Earth del lugar de instalación se obtuvo el resultado de la inclinación.

$$\beta = |-0,751| + 10^\circ \cong 11^\circ$$

La ubicación el panel solar se logra visualizar en la figura 36, se tomó en consideración el consumo constante para todo el año.



Figura 36. Instalación del panel fotovoltaico
Fuente: El investigador

Luego se procedió a la instalación del controlador de carga y la batería como se muestra en la figura 37.



Figura 37. Conexiones controlador de carga
Fuente: <https://url2.cl/Kd2yG>

La instalación final del sistema de alimentación y el sistema de control para el funcionamiento de la cloración automática se puede observar en la figura 38, la etapa de control está instalada dentro de cajas de paso con el PLC y tarjetas (color rojo), la conexión de todos los sensores (color amarillo), panel solar parte superior (azul), bomba dosificadora (color naranja) y la batería (color morado), el tanque dispone de una cubierta sujeta a la estructura debido a que el sistema funciona expuesta al aire libre.



Figura 38. Conexión final del sistema de cloración
Fuente: El investigador

3.2.7 Pruebas de funcionamiento

Para las primeras pruebas se verificó que el panel solar entregue el voltaje necesario para la carga de la batería como se observa en la figura 39 en el instante medido se obtuvo un voltaje de 21.24 voltios.



Figura 39. Prueba del panel solar

Fuente: El investigador

La lectura de todos los sensores implementados en el sistema de cloración automático como lo son: pH, temperatura, nivel, caudal de ingreso y caudal de dosificación se muestran en una pantalla LCD como se observa en la figura 40, se obtuvo errores al momento de la lectura de los caudales fue necesario revisar las conexiones y comprobar la lectura de todos los sensores.



Figura 40. Primera prueba de lectura de sensores

Fuente: El investigador

Después de realizar la revisión de conexiones en la figura 41 se muestra nuevamente la lectura de los sensores de forma completa.



Figura 41. Segunda prueba de lectura de sensores

Fuente: El investigador

En la tabla 23 se observan los resultados de las lecturas diarias en diferentes horarios de los sensores de pH, temperatura y nivel durante 7 días, con esos resultados se realizó un promedio para comparar con la norma y ver si está dentro de los rangos admisibles.

Tabla 23. Lectura de los sensores pH, nivel, temperatura.

Número de día	Hora de medida	Valor de pH	Nivel de agua (m)	Temperatura (° C)
Día 1	7:00	6,9	1,1	12,1
Día 2	7:00	7	1,6	10,2
Día 3	7:00	6,8	1,7	13,1
Día 4	7:00	7,2	1,5	11,5
Día 5	7:00	7,5	2	9,5
Día 6	7:00	7,6	1,8	8,7
Día 7	7:00	7,8	2,3	10,3
Día 1	13:00	7	1,3	10,1
Día 2	13:00	7,3	1,2	11,2
Día 3	13:00	7,1	1,5	12,1
Día 4	13:00	7,1	1,6	11,1
Día 5	13:00	7,6	1,5	10,2
Día 6	13:00	7,2	1,5	8,2
Día 7	13:00	7,6	1,9	9,1
Día 1	17:30	7,6	1,2	11,1
Día 2	17:30	7,8	0,9	8,1
Día 3	17:30	7,7	1	11,9
Día 4	17:30	7,4	1,1	12
Día 5	17:30	7,1	0,8	10,4
Día 6	17:30	7,6	1,4	8,6
Día 7	17:30	7,6	1,9	9,8
Promedio		7,35	1,4	10,4

Elaborado por: El investigador

De igual manera en la tabla 24 se puede visualizar las lecturas de los sensores de flujo, es decir el caudal de ingreso al tanque principal y el caudal de dosificación durante 7 días de la semana.

Tabla 24. Mediciones sensores de flujo

Número de día	Hora de medida	Caudal de ingreso L/m	Caudal de dosificación L/m
Día 1	7:00	140,2	0,1
Día 2	7:00	145,7	0,12
Día 3	7:00	145,1	0,1
Día 4	7:00	160,2	0,14
Día 5	7:00	153,4	0,1
Día 6	7:00	150,2	0,13
Día 7	7:00	175,2	0,2
Día 1	13:00	143,2	0,21
Día 2	13:00	147,5	0,2
Día 3	13:00	155,8	0,2
Día 4	13:00	159,2	0,23
Día 5	13:00	162,5	0,2
Día 6	13:00	178,2	0,21
Día 7	13:00	180,2	0,22
Día 1	17:30	153,1	0,2
Día 2	17:30	153,4	0,2
Día 3	17:30	170,3	0,23
Día 4	17:30	183,3	0,22
Día 5	17:30	185,2	0,22
Día 6	17:30	182,7	0,22
Día 7	17:30	186,2	0,2
Promedio		162,41	0,18

Elaborado por: El investigador

Los datos obtenidos fueron enviados vía GSM a los números designados por la junta administradora, los datos que se enviaron son: pH, temperatura y nivel del tanque, esta información fue enviada a diferentes horas para las pruebas respectivas como se observa en la figura 42 la recepción del mensaje en dos usuarios finales.

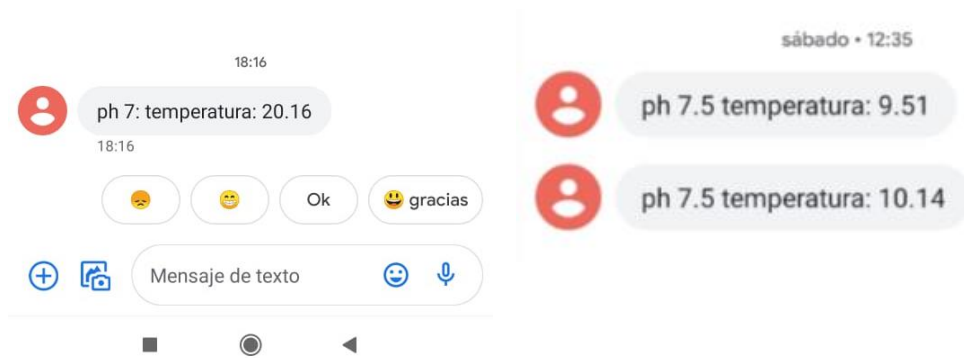


Figura 42. Verificación de información en dos usuarios finales.

Fuente: El investigador

Para el sistema de alarma o de aviso que la solución de hipoclorito de calcio se terminó, se realizó la simulación de que el tanque de la solución madre este vacío es decir se procedió a subir el sensor de nivel para que envié la señal para el envío de un mensaje vía GSM, con el texto “Nivel bajo de solución”, para que de esta manera el agua nunca deje de ser descontaminada antes del consumo, se puede visualizar el mensaje de alarma en la figura 43.

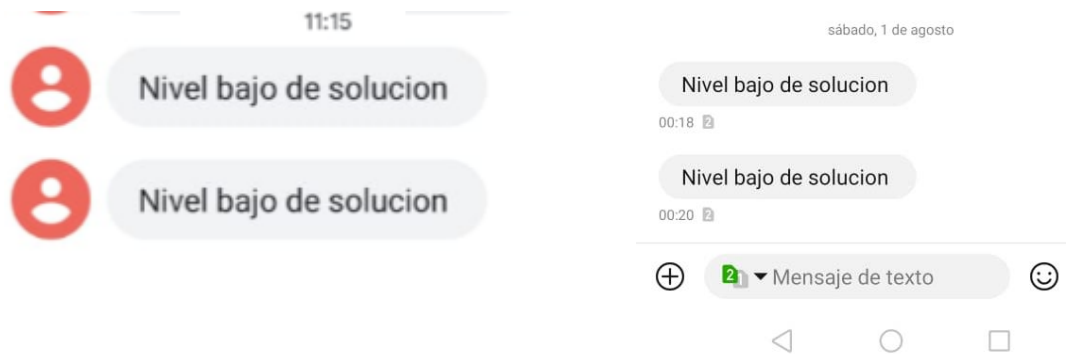


Figura 43. Prueba mensaje de alerta.

Fuente: El investigador

3.2.8 Presupuesto

El presupuesto del prototipo del sistema automático de dosificación de cloro se presenta en la tabla 25, en donde se encuentran los materiales y equipos utilizados.

Tabla 25. Presupuesto del proyecto

PRESUPUESTO					
ITEM	UNIDAD	DESCRIPCION	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
1	c/u	M-DUINO 21+ PLC	1	400	400
2	c/u	SENSOR HDL300	2	95	190
3	c/u	SENSOR PH	1	140	140
4	c/u	SENSOR DE CAUDAL	1	50	50
5	c/u	SENSOR TEMPERATURA	1	8,5	8,5
6	c/u	ELECTROVALVULA	1	145	145
7	c/u	BOMBA PERISTALTICA	1	92	92
8	c/u	SIM 800	1	20	20
9	c/u	BATERIA GEL 100AH	1	260	260
10	c/u	PANEL SOLAR	1	90	90
11	c/u	CONVERSOR DC-DC	1	15	15
12	c/u	CONTROLADOR DE CARGA	1	60	60
13	c/u	KIT DE PLOMERIA	1	50	50
14	m	CABLE 2 HILOS	5	0,6	3
15	m	CABLE 3 HILOS	5	0,8	4
16	m	CABLE 4 HILOS	5	1	5
17	c/u	TANQUE DE 1000 L	1	80	80
18	c/u	CAJAS DE PASO	2	10,25	20,5
19	c/u	KIT ELECTRONICO	1	20	20
			Total		1498

3.3 Resultados

3.3.1 Análisis de la calidad del agua potable

La implementación de un sistema de dosificación de cloro permitió mejorar la calidad de agua potable para los usuarios de la comunidad de “San Ramón de la Chilintosa”, para la comprobación se realizó la medición del cloro antes de la instalación del sistema de dosificación mediante el método colorimétrico con ortotolidina con un kit de comparación obteniendo el resultado que se observa en la figura 44.



Figura 44. Medición de cloro residual.

Fuente: El investigador

El resultado obtenido indica la ausencia de cloro en el agua potable y un pH de 7.2, el cloro residual es un parámetro el cual se debe revisar frecuentemente ya sea en un sistema nuevo o se ha rehabilitado, se deben hacer chequeos diarios hasta que esté seguro de que el proceso de cloración está funcionando correctamente.


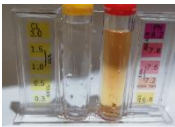
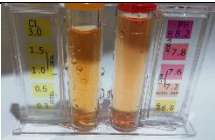




Una vez instalado el sistema de cloración se tomó muestras diarias obteniendo los resultados que se muestran en la tabla 27, se toma en cuenta la norma CO 10.7-602 para los límites deseados y límites máximos permisibles de la tabla 26.

Tabla 26. Parámetros del agua potable permisibles

Parámetro	Unidades	Límite deseable	Límite máximo permisible
Cloro residual	mg/l	0.5	0.3-1.0
pH	U	7.0-8.5	6.5-9.5

Elaborado por: El investigador basado en[56].

Tabla 27. Muestras en campo de cloro residual

#Días	Resultado	Interpretación
Día 1		El cloro residual está en una cantidad de 0.3 mg/l, es un valor admisible, con el pH de 7.2
Día 2		Ausencia de cloro y pH 6.8
Día 3		Nivel de cloro 1.5mg/l y pH 6.8
Día 4		Nivel de cloro 0.5 mg/l y pH 7.2
Día 5		Nivel de cloro 0.3 mg/l y pH 7.6
Día 6		Nivel de cloro 3.0 mg/l y pH 7.8
Día 7		Nivel de cloro 1 mg/l y pH 7.6

Elaborado por: El investigador

3.3.2 Análisis del pH

El pH mediante los datos obtenidos y comparados con la norma están dentro del rango admisible, con la dosificación permitió que el agua esté en óptimas condiciones para el consumo humano. Para encontrar el margen de error medido del sensor con el método del colorímetro se realizó un promedio de las dos mediciones tomando como patrón o guía el segundo método como se observa en la tabla 28.

Tabla 28. Marguen de error pH

Método	Promedio
Medición de pH	7,35
pH colorímetro	7,28
Error	0,07

Elaborador por: El investigador

El error que existe es mínimo entre las medidas del sensor y la medida por el método del colorímetro, de esta manera se reafirma las condiciones excelentes para la potabilización del agua. En la figura 45 se muestra la gráfica de 21 valores medidos del pH en 7 días y en diferentes horarios lo que corresponde a 7 valores por horario 7:00am, 13:00pm y 17:30 pm.

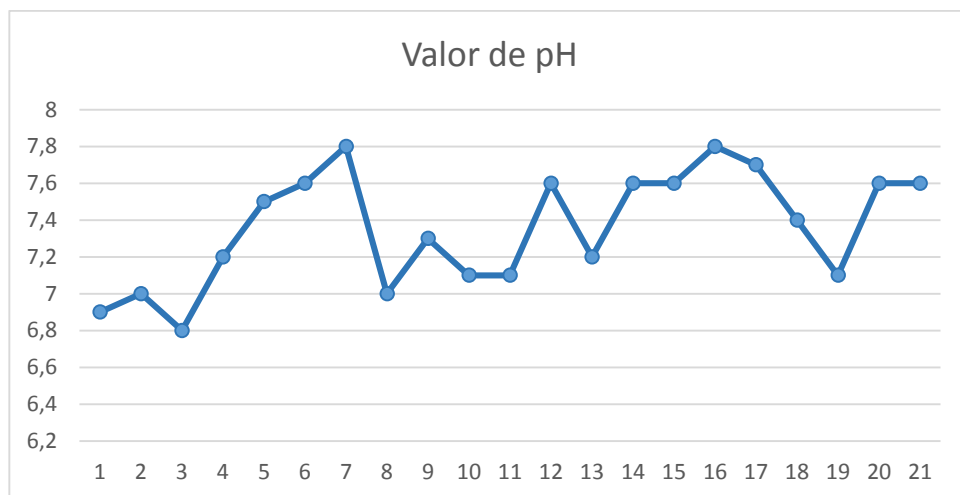


Figura 45. Valores medidos de pH

Fuente: El investigador

3.3.3 Análisis del cloro residual

El cloro residual que se obtuvo por el método del colorímetro en promedio es de 0,9 mg/l lo cual indica que la cantidad de cloro aplicada es demasiada, para obtener un rango adecuado se cambió la cantidad de dosificación con el objetivo de llegar a un valor más cercano a 0,5 mg/l.

3.3.4 Análisis del ahorro del agua potable

Se realizó las mediciones del nivel de agua en el tanque de distribución diariamente antes y después de la instalación del sistema de cloración, con el fin de verificar el uso adecuado del agua potable, los resultados en promedio de cada horario se observan en la tabla 29 y tabla 30.

Tabla 29. Nivel de agua sin sistema de cloración

Horario	Promedio
07:00 am	1.2 metros
13:00 pm	1 metro
17:30 pm	0.9 metros

Elaborado por: El investigador

Los datos de la tabla 29 son el promedio de tres horarios en 4 días antes de la instalación, y se concluye que el agua se mantuvo por debajo de la mitad de la capacidad total del tanque.

Tabla 30. Nivel de agua con sistema de cloración

Horario	Promedio
07:00 am	1.7 metros
13:00 pm	1.5 metros
17:30 pm	1.1 metros

Elaborado por: El investigador

Con los datos de la tabla 30 que son el resultado de 7 días en diferentes horarios con el sistema de dosificación implementado, el nivel del agua por las mañanas incremento debido a que los usuarios no utilizaron el agua por las noches para sus sembríos, la razón es porque estos se tornaron de un color amarillento al aplicar agua clorada, con

lo cual se concluye que al no hacer uso del agua potable para cultivos se optimiza el rendimiento del sistema de cloración, y por ende un ahorro de este recurso.

En la figura 46 se visualiza el comportamiento del nivel del agua en el tiempo de 7 días.

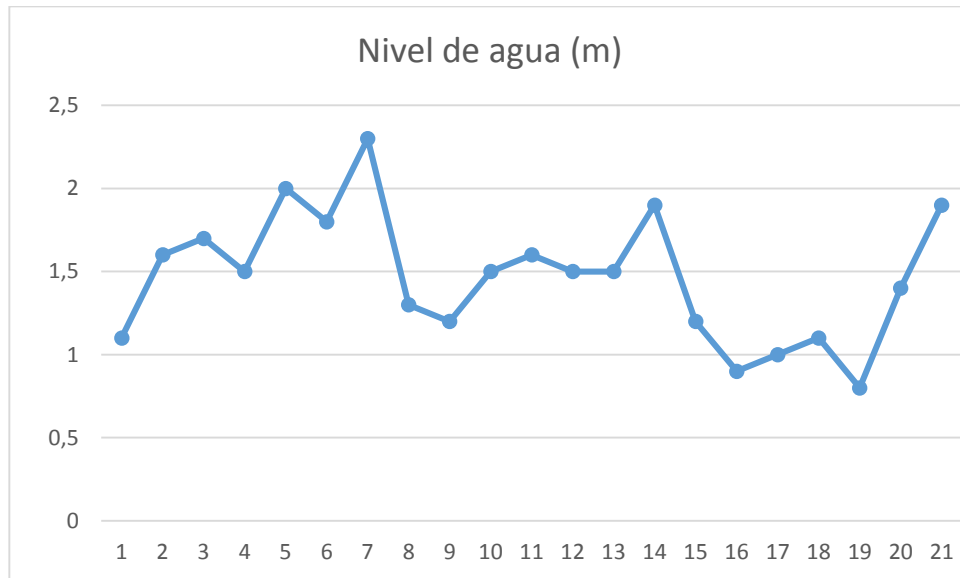


Figura 46. Grafica del nivel del agua en 7 días.

Fuente: El investigador

3.3.5 Análisis del caudal de ingreso

Los datos obtenidos del caudal de ingreso al tanque reservorio permitió establecer que la cantidad de agua es suficiente para cubrir la población futura ya que los usuarios no informaron la falta de agua en sus domicilios durante el periodo de pruebas y el periodo de funcionamiento del sistema. En la figura 47 se puede observar el comportamiento del caudal de ingreso medida en litros por minuto (l/m).

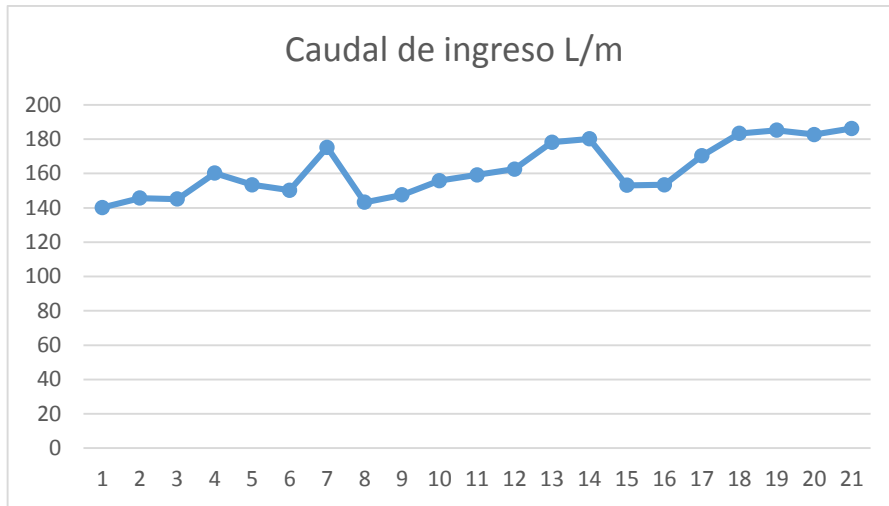


Figura 47. Caudal de ingreso
Fuente: El investigador

3.3.6 Análisis del caudal de dosificación

El caudal de dosificación se debe mantener de forma estable para asegurar que la cantidad de cloro en el agua no exceda los límites permisibles, de esta manera al inicio de las pruebas se observó la inestabilidad de la dosificación hasta llegar a un punto estable como se observa en la figura 48.

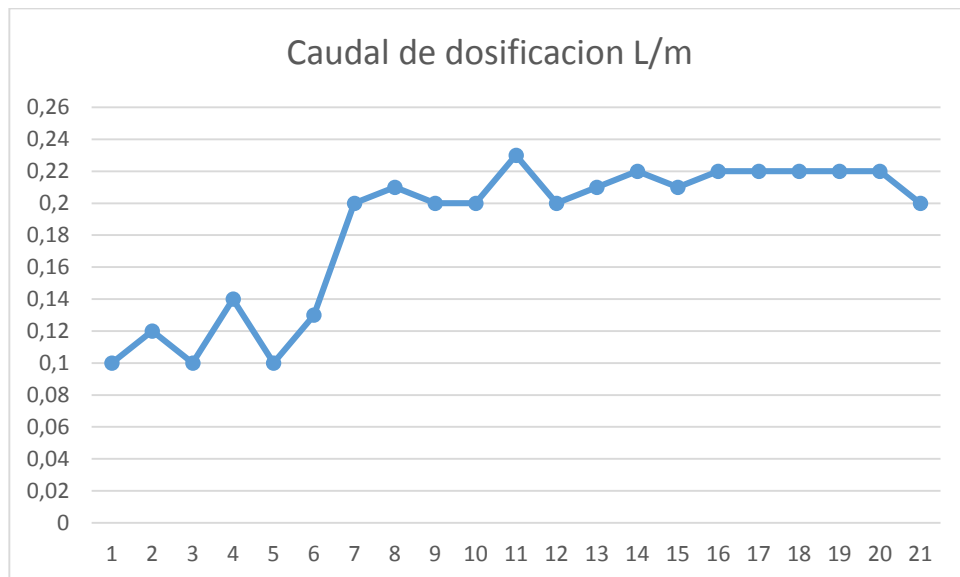


Figura 48. Caudal de dosificación

CAPITULO 4

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

Con el diseño e implementación del sistema de cloración automático se obtuvieron los siguientes resultados.

- El sistema de dosificación de cloro está diseñado para brindar las seguridades necesarias al usuario final, al consumir el agua potable destinada a sus domicilios cumpliendo los requerimientos básicos que las normas lo indican, o
- Mediante el análisis de los parámetros que influyen en la calidad del agua se determinó que los más importantes y sujetos a normas nacionales e internacionales son el pH y el cloro residual, que a partir de las pruebas realizadas estuvieron dentro del valor admitido es decir un pH promedio de 7,35 y cloro residual de 0,9 mg/l, valores que están dentro de la norma ecuatoriana CO 10.7-602.
- El uso de una bomba peristáltica en la implementación de la cloración aseguró que la solución de hipoclorito de calcio no sea desperdiciada, debido a las características del motor a pasos que se logró controlar por medio del modelamiento del sistema de control para obtener el caudal de dosificación correcto.
- Para la comunicación, el sistema utiliza una tarjeta SIM 800, que envía los parámetros establecidos haciendo uso de la red GSM de Claro, se utilizó esta red debido a que luego de varias pruebas con otras operadoras a nivel nacional no permitieron enlazarse con el usuario final.

4.2 Recomendaciones

- La base de todo sistema de cloración está enfocada en la cantidad correcta de la solución a utilizar para la desinfección, es por ello, que es fundamental realizar los cálculos para la aplicación de los químicos y de esta manera obtener agua con mejor calidad.
- Para la toma de muestras de análisis de agua, hay que considerar tres puntos diferentes, la primera casa que llega el agua descontaminada, casa intermedia en el sistema y la última casa de distribución del agua potable.
- En un sistema de energía solar es recomendable realizar varias mediciones de voltajes en diferentes ángulos de inclinación. de esta manera realizar una comparativa y obtener el sitio y ángulo en el cual un panel solar funcione a su máxima capacidad.
- Para la selección de la tecnología de comunicación inalámbrica se recomienda analizar la cobertura de varias tecnologías con o sin línea de vista para que el sistema sea fiable y que no tenga pérdida de datos al enviar la información.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] G. I. Pilataxi Contreras and J. J. Santos Zambrano, “Automatización e implementación de un sistema de recolección, cloración y monitoreo de niveles de agua, cloro y oxígeno del agua potable del Caserío Mollepamba.,” 2017, [En línea]. Available: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/7932>.
- [2] J. J. Quispe and C. J. Torres, “Diseño de un sistema automatizado de dosificación de cloro para mejorar la calidad del agua potable en el sistema de abastecimiento de la comunidad La Planta-Paiján-La Libertad,” Universidad Nacional de Trujillo, 2018, [En línea]. Available: <http://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/10532>
- [3] S. Ayala and S. Pacheco, “Implementación de un sistema de control y monitoreo de cloración de agua en forma remota mediante tecnología zigbee para la planta de potabilización ‘El Calzado’ de la EPMAPAL,” Latacunga, 2017, [En línea]. Available: <http://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/handle/21000/7018>.
- [4] Barrera Ariza and Santoyo Sandra, “Propuesta de automatización en la dosificación de químicos para la planta de tratamiento de agua potable (PTAP) en Vélez Santander.” Colombia, 2013, [En línea]. Available: <https://electronikuts.files.wordpress.com/2014/09/tesis-sandra-y-eliecer-corregidos.pdf>.
- [5] M. Guerrero, *El agua*, Primera Ed. Mexico, 2012, [En línea]. Available: https://books.google.com.ec/books?id=Ommv6A0e_sC&printsec=frontcover&dq=el+agua&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEWjKx43sjJHnAhWljFkKHcySBlgQ6AEIMDAB#v=onepage&q=el+agua&f=false.
- [6] E. Perez, “Control de calidad en aguas para consumo humano en la región occidental de Costa Rica,” *Rev. Tecnol. en Marcha*, vol. 29, no. 3, pp. 3–14, 2016, [En línea]. Available: http://revistas.tec.ac.cr/index.php/tec_marcha/article/view/2884.
- [7] C. Sierra, *Calidad del agua, Evaluación y diagnóstico*, Primera Ed. Medellín, 2011, [En línea]. Available: https://www.academia.edu/9511155/Calidad_del_agua_evaluación_y_diagnós

tico?auto=download.

- [8] P. Dosing, “Cloracion de agua potable,” p. 28, 2012, [En línea]. Available: http://www.elaguapotable.com/cloracion1.htm%0Ahttps://drive.google.com/file/d/0B8D2_Q6wgqIRX29IcGxXS2ljYzg/view?usp=sharing.
- [9] B. Angelica, “Automatización de una planta potabilizadora,” 2009, [En línea]. Available: <https://xdoc.es/automatizacion-8-pdf-free.html>.
- [10] O. P. D. L. S. OPS/ OMS, “La desinfección del agua,” *Agua N.W., Washington, D.C., 20037*, pp. 5-9–11, 1999.[En línea]. Available: <http://www.elaguapotable.com/aguadesi.pdf>
- [11] C. Nikolay and J. Cazco, “Desinfección del agua para consumo humano,” 2010.[En línea]. Available: <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/31/browse?type=author&order=ASC&rpp=10&value=Jaramillo+Cazco%2C+Cristian+Nikolay>
- [12] Asociación Española de abastecimientos de agua y saneamiento, “MANUAL DE LA CLORACIÓN,” Madrid. [En línea]. Available: <https://www.asoaeas.com/sites/default/files/Documentos/AEAS.Manual.de.la.Cloracion.pdf>.
- [13] CONAGUA, “Desinfección para sistemas de agua potable y saneamiento,” *Man. agua potable, alcantarillado y Saneam.*, p. 92, 2011, [En línea]. Available: <http://aneas.com.mx/wp-content/uploads/2016/04/SGAPDS-1-15-Libro4.pdf>.
- [14] A. Chaucachicaiza and L. Orozco, “Diseño e implementación de un sistema automatizado para la dosificación de cloro en el tratamiento de agua potable,” Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, 2012,[En línea]. Available: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/1888>.
- [15] L. Sardi, E. Mónica Mirensky, N. Iaconis, and M. Broitman, “CALIDAD DEL AGUA DOMICILIARIA. EXPERIENCIA DE APRENDIZAJE EN EL TRANCURSO DE UN PROYECTO DE INVESTIGACIÓN: APLICACIÓN DEL MÉTODO CIENTÍFICO.” Último acceso: 01-Apr-2020. [En línea]. Available:

https://www.palermo.edu/ingenieria/PDFs/GIIS/TRABAJO_COINI_LOPEZSARDI.pdf.

- [16] V. Guanoluisa, “ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO,” 2015.[En línea]. Available: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/browse?type=author&value=Guanoluisa+D%C3%ADaz%2C+Victoria+Karina>
- [17] D. E. Horna, “Optimización del consumo de cloro en la potabilización del agua, haciendo uso del método del nivel estático en reservorio del sistema de agua potable rural del caserío el Tambo distrito de José Gálvez - 2014,” *Univ. Nac. Cajamarca*, p. 105, 2014, [En línea]. Available: <http://repositorio.unc.edu.pe/handle/UNC/653>.
- [18] D. Plasencia, “RED DE CONTROLADORES PARA LA DOSIFICACIÓN AUTOMÁTICA DE AGUA EL CASERÍO EL ROSAL DE MOCHA,” UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO, 2019.[En línea]. Available: https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/30113/1/Tesis_t1641ec.pdf
- [19] B. Dávila and W. Ramos, “Diseño y construcción de una bomba peristáltica para la dosificación de soluciones salinas en operaciones artroscópicas,” 2008, [En línea]. Available: <http://mriuc.bc.uc.edu.ve/bitstream/handle/123456789/7470/bidvila.pdf?sequence=4>.
- [20] J. Bates and J. Regis, “Comunicaciones inalámbricas de banda ancha,” 2003. Available:<https://ebookcentral.proquest.com/lib/utasp/reader.action?docID=3191950&query=comunicaciones+inalambricas> (Último acceso Jan. 07, 2020).
- [21] J. F. Monsalva Posada and A. Arias Londoño, “Redes inalámbricas para control de procesos industriales en tiempo real,” *Rev. Politec.*, vol. 9, pp. 82–93, 2013.[En línea]. Available: https://www.academia.edu/17075854/Redes_inal%C3%A1mbricas_para_el_control_de_procesos_industriales_en_tiempo_real
- [22] L. Mauricio, “INDUSTRIA 4.0 PARA LA MONITORIZACIÓN DE UN PROCESO INDUSTRIAL,” pp. 1–2, 2019, [En línea]. Available: https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/29852/1/Tesis_

t1591masc.PDF.

- [23] F. Vásquez, “RED INALÁMBRICA TIPO MALLA (WNM) ESTANDAR 802.11 DE TRANSMISIÓN Y LA OPTIMIZACIÓN DE COBERTURA EN LOS COLEGIOS DE LA PROVINCIA DE TUNGURAHUA,” UNIVERSIDAD TECNICA DE AMBATO, 2014.[En línea]. Available: <https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/6989>
- [24] Jacobo Romero C., “Análisis del funcionamiento de paneles fotovoltaicos y su utilización en las regiones de la costa y sierra del Ecuador.,” p. 98, 2015, [En línea]. Available: <http://repositorio.educacionsuperior.gob.ec/bitstream/28000/1911/1/T-SENESCYT-01011.pdf>.
- [25] E. Mandano and Y. Mandado, *Sistemas Electrónicos Digitales*, Novena Edición.[En línea]. Available: <https://books.google.com.ec/books?id=V7JpKkZaEYMC&pg=PA658&dq=plc+definicion&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwiHvt2GjtnnAhVsRN8KHdWhBP0Q6AEIODAC#v=onepage&q=plc definicion&f=false>
- [26] T. R. Alves, M. Buratto, F. M. De Souza, and T. V. Rodrigues, “OpenPLC: An open source alternative to automation,” *Proc. 4th IEEE Glob. Humanit. Technol. Conf. GHTC 2014*, pp. 585–589, 2014, doi: 10.1109/GHTC.2014.6970342.[En línea]. Available: <https://ieeexplore.ieee.org/document/6970342>
- [27] L. Corona, G. Abarca, and J. Carreño, *Sensores y Actuadores*, Primera Ed. 2014.[En línea]. Available: <https://books.google.com.ec/books?id=wMm3BgAAQBAJ&printsec=frontcover&dq=sensores+y+actuadores&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwiN49PTxsnAhUhlvKkKHfODC6wQ6AEIKDAA#v=onepage&q=sensores y actuadores&f=false>
- [28] R. Sailema, “SISTEMA DE CONTROL BASADO EN EL MÉTODO DE LÓGICA DIFUSA PARA OPTIMIZAR EL FUNCIONAMIENTO DE UN HORNO ELÉCTRICO UTILIZADO EN EL PROCESO DE ENSUELADO PARA LA FABRICACIÓN ARTESANAL DE CALZADO,” UNIVERSIDAD

- TÉCNICA DE AMBATO, 2019.[En línea]. Available: <http://repo.uta.edu.ec/bitstream/handle/123456789/5301/Mg.DCEv.Ed.1859.pdf?sequence=3>
- [29] Senplades, “Agua potable y alcantarillado para erradicar la pobreza en el Ecuador,” p. 120, 2014,[En línea]. Available: <https://www.planificacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/09/FOLLETO-Agua-SENPLADES.pdf>
- [30] O. ENGINEERING, “Sensor de nivel,” 2019. <https://es.omega.com/prodinfo/sondas-de-nivel-medicion.html> (Último acceso Jan. 02, 2020).
- [31] DFROBOT, “Liquid Level Sensor-FS-IR02,” 2018. [En línea]. Available: https://media.digikey.com/pdf/DataSheets/DFRobot DFs/SEN0205_Web.pdf.
- [32] H. A. Technology, “Sensor de nivel piezorresistivo analógico,” 2020. https://hda.en.alibaba.com/?spm=a2700.md_es_ES.cordpanyb.4.296f2ee5mTePGI (Último acceso Jan. 03, 2020).
- [33] R. Ecuador, “Automatización,” 2020. <https://www.riegoecuador.com/index.php/categorias/automatizacion> (Último acceso Feb. 03, 2020).
- [34] J. Vivanco, “Sistema de control electrónico para acuarios utilizando tecnologías GSM y VOIP,” *Rev. Cient. Investig. Actual. del mundo las ciencias*, vol. Vol. 1 núm, no. Vol. 1 núm., 4, pp. 578–606, 2017, [En línea]. Available: <http://reciamuc.com/index.php/RECIAMUC/article/view/193/196>.
- [35] Electronics/MoreSuns, “PH Temperature Transmitter.” https://moresuns.en.alibaba.com/product/60835559380-807903899/PH_Value_Temperature_Transmitter_Detection_Sensor_Module_RS485_4_20mA_0_10V_0_5V_Output_Electrode_PH_Temperature_Transmitter.html?spm=a2700.icbuShop.41413.19.6478197bC2bhgt (Último acceso Feb. 04, 2020).
- [36] MaxElectrónica, “DN50 Sensor de Flujo,” 2019. <https://maxelectronica.cl/sensores/663-dn50-sensor-de-flujo-caudalimetro-de->

agua-diametro-2-pulgadas-200lmin-efecto-hall.html.

- [37] Ifmelectronic, “Caudalímetro-Inductivo,” 2016. <https://www.ifm.com/ar/es/product/SM2404> (Último acceso Feb. 04, 2020).
- [38] VYR S.A., “CATALOGO SISTEMAS DE RIEGO PROFESIONAL.”
- [39] CEPEX, “Electroválvulas.pdf.” [En línea]. Available: <https://www.riegoecuador.com/index.php/productos/valvula-electrica>.
- [40] PROINSERVI, “Bomba periestáltica,” 2010, [En línea]. Available: <https://www.proinservi.com/productos/bombas/peristalticas/520sreh-520ureh-520dureh.html>.
- [41] E. Zambrano, “SISTEMA ELECTRÓNICO PARA EL MONITOREO DE LOS NIVELES DE LÍQUIDOS DE LOS AUTOBUSES DE LA COMPAÑÍA DE TRANSPORTE ‘16 DE JULIO MAVE S.A.’,” 2020, [En línea]. Available: https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/30734/1/Tesis_t1686ec.pdf.
- [42] Shanghai SIMCom Wireless Solutions Ltd, “SIM900 Hardware Design V2.0,” p. 47, 2010, [En línea]. Available: ftp://imall.iteadstudio.com/IM120417009_IComSat/DOC_SIM900_Hardware_Design_V2.00.pdf.
- [43] SIMCom, “Sim800L_Hardware_Design_V1.00,” pp. 1–70, 2013, doi: SIM800L_Hardware_Design_V1.00.[En línea]. Available: http://wiki.seeedstudio.com/images/4/46/SIM800L_Hardware_Design_V1.00.pdf
- [44] Siemens, “Manual-PLC-Siemens s7-1200,” 2014.
- [45] OMRON COMPANIES, “SYSMAC CJ-series CJ2M CPU,” 2001.
- [46] Industrialshields, “PLC-M-DUINO.” [En línea]. Available:https://www.industrialshields.com/es_ES/support/help/ethernet-plc-3/m-duino-ethernet-21 (Último acceso Aug. 14, 2019).
- [47] J. Vega de Kuyper, “Principios y aplicaciones de la energía fotovoltaica y de las baterías,” 2018, [En línea]. Available:

<https://books.google.com.ec/books?id=EmqPDwAAQBAJ&pg=PT50&dq=cálculo+para+sistemas+fotovoltaicos&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwjOja23q7zpAhXEI-AKHVwLAGgQ6AEITzAF#v=onepage&q=cálculo para sistemas fotovoltaicos&f=false> (Último acceso Jun. 05, 2020).

- [48] B. Ecuador, “Baterías Ecuador,” *Catálogo baterías*, 2017, [En línea]. Available:<http://www.bateriasecuador.com/2017/04/17/e4-66-hp-i/>.
- [49] T. S.A., “Bosch Innovación para tu vida,” *Catálogo baterías*, 2019, [En línea]. Available: <https://boschecuador.com/catalogos/baterias/catalogo>.
- [50] J. Rollón Rodríguez, “Convertidor DC/DC Elevador (BOOST) con control de corriente y de tensión,” p. 77, 2014, [En línea]. Available: <https://academic-e.unavarra.es/xmlui/handle/2454/10048>.
- [51] PCPRO STORE, “PCPRO,” *Componentes Electronicos*. [En línea]. Available:<http://pcproinformatica.com.ar/componentes-electronicos/684-elevador-boost-step-up-dc-dc-10-50v-10a.html>.
- [52] XLSEMI, “Switching Current Boost DC Converter 400KHz 42V 4A,” pp. 1–9, [En línea]. Available: <https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/1132228/XLSEMI/XL6009.html>.
- [53] Proviento S.A, “Controladores.” [En línea].<https://proviento.com.ec/store/11-controladores> (Último acceso Jun. 06, 2020).
- [54] ENERGYPLAM, “ENERGIA SOLAR.” [En línea]. Available: <https://energypower.ec/2-categories?page=1> (Último acceso Jun. 09, 2020).
- [55] Rekoser, “Controladores de Carga PWM - Rekoser (ES).” [En línea]. Available: <http://rekoser.com/es/charge-controllers/pwm/> (Último acceso Jun. 06, 2020).
- [56] SENAGUA, “Norma de diseño para sistemas de abastecimiento de agua potable, disposición de excretas y residuos líquidos en el área rural,” *Secr. del Agua*, pp. 1–44, 2016, doi: 10.7.
- [57] S. Martinez and J. Gualda, “Electrónica de potencia. Componentes, topologías y equipos.” [En línea]. Available: <https://books.google.com.ec/books?id=izwxn8edxhAC&pg=PA71&dq=transistores+de+potencia&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwj4gPSO2MXqAhXBY98K>

HeFiAb4Q6AEwAHoECAyQAg#v=onepage&q=transistores de potencia&f=false (Último acceso Jul. 11, 2020).

- [58] M. Baselga, “INSTALACIONES SOLARES FOTOVOLTAICAS,” EDITEX, Ed. 2019.[En línea].Available: https://books.google.com.ec/books?id=bKyZDwAAQBAJ&pg=PA36&dq=panel+solar++instalacion&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwiVvuOAm_PqAhURVN8KHxabC2wQ6AEwAnoECAQQAg#v=onepage&q=panel+solar+instalacion&f=false
- [59] Ingenieria sin fronteras, “ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA Y COOPERACION AL DESARROLLO,” IEPALA, Ed. Madrid, 1999, pp. 81–85.[En línea].Available: https://books.google.com.ec/books?id=43uE8RFk_6YC&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=false
- [60] OPS and OMS, “Medición del cloro residual en el agua,” *Guías técnicas sobre saneamiento, agua y salud*, p. 4, 2009, [En línea]. Available: <http://www.disaster-info.net/Agua/pdf/11-CloroResidual.pdf>.

ANEXOS

ANEXO A

PROGRAMACIÓN COMPLETA DEL SISTEMA, LECTURA DE SENSORES, ENVIO DE DATOS Y FASE DE ACTUADORES.

```
#include <Wire.h>
#include "RTClib.h"
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
RTC_DS1307 RTC;
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27,20,4);
int hora=0; // Variable donde se guardara la hora
int minutos=0; // Variable donde se guardaran los minutos
int segundos=0; // Variable donde se guardaran los segundos
String numeros[] ={"593987171425","593998297870","593984022988"};
int cantidadNum =3;
volatile int NumPulsos1; //Variable para la cantidad de pulsos recibidos sensor
DN50
volatile int NumPulsos; //Variable para la cantidad de pulsos recibidos sensor
YF401
int PinSensor_Caudal_DN50 = I0_5; //Pin de entrada para el sensor DN50
int PinSensor_CAUDAL_YF_401 = I0_6; //Pin de entrada para el sensor YF401
int pinLM35 = I0_7; // Variable del pin de entrada del sensor temperatura
int nivel = I0_8; //Pin de lectura sensor de nivel
int ph= I0_9;
int velocidad = I0_10;
int nivel_1 = I0_0;
const float factor_conversion_DN50=5.0; //Factor de conversion para convertir de
frecuencia a caudal
const float factor_conversion_YF_401= 70.84; //Factor de conversion para convertir
de frecuencia a caudal
int frecuencia;
int frecuencia1;
float caudal_L_m_DN50;
float caudal_L_m_YF_401;
int salida_valvula=Q0_0;
int salida_valvula1= Q0_2;
int salida_bomba=Q0_5;// Salida donde se conecta la valvula solenoide
//variables para temperatura
int valor; // Variable para almacenar el valor obtenido del sensor (0 a 1023)
float tempS;
float tempC;//variable para converit
int valor_nivel;
float valor_nivel;
int vel_motor;
int vel;
int alarma = Q0_1;
boolean aux=0;
int valor_cond;
```

```

float conductividad1;
float conductividad=0;

int ObtenerFrecuencia1() //---Función para obtener frecuencia de los pulsos--
{
  int frecuencia1;
  NumPulsos1 = 0; //Ponemos a 0 el número de pulsos
  _delay_ms(1000); //muestra de 1 segundo
  frecuencia1=NumPulsos1; //Hz(pulsos por segundo)
  return frecuencia1;
}
int ObtenerFrecuencia()
{
  int frecuencia;
  NumPulsos = 0; //Ponemos a 0 el número de pulsos
  _delay_ms(1000); //muestra de 1 segundo
  frecuencia=NumPulsos; //Hz(pulsos por segundo)
  return frecuencia;
}

void setup()
{
  Serial1.begin(9600);
  pinMode(PinSensor_Caudal_DN50, INPUT);
  pinMode(nivel,INPUT);
  pinMode(nivel_1,INPUT);
  attachInterrupt(0,Pulsos,RISING);
  pinMode(PinSensor_CAUDAL_YF_401, INPUT_PULLUP); //(Interrupcion
0(Pin2),funcion,Flanco de BAJADA)
  attachInterrupt(1,Pulsos1,FALLING);//(Interrupcion 1(Pin3),funcion,Flanco de
BAJADA)
  pinMode(salida_valvula,OUTPUT);
  pinMode(salida_valvula1,OUTPUT);
  pinMode(salida_bomba,OUTPUT);
  Wire.begin(); // Se inicia la libreria Wire
  RTC.begin(); // Iniciamos la libreria del RTC
  RTC.adjust(DateTime(__DATE__, __TIME__)); //Si quitamos el comentario de
la línea siguiente, se ajusta la hora y la fecha con la del ordenador
  lcd.init();
  lcd.backlight();
  lcd.print("SISTEMA DE CLORACION");
  lcd.setCursor(1,1);
  lcd.print("REGIONAL ORIENTAL");
  lcd.setCursor(1,2);
  lcd.print("COMUNA SAN RAMON");
  delay(3000);
  digitalWrite(alarma,LOW);
  aux=0;
}

```

```

}

void loop ()
{

DateTime now = RTC.now();
hora=(now.hour(),DEC);
minutos=(now.minute(),DEC);
segundos=(now.second(),DEC);
lcd.clear();
// lcd.print("Parametros");
//lcd.print(now.day(),DEC);
lcd.setCursor(0,0);
lcd.print(now.hour(), DEC);
lcd.setCursor(2,0);
lcd.print(":");
lcd.setCursor(3,0);
lcd.print(now.minute(), DEC);

//Lectura de sensores
valor = analogRead(pinLM35);
vel = analogRead(velocidad);
valor_cond = analogRead(ph);
valor_lnivel = analogRead(nivel);
tempS = valor/15.5;
tempC = (10.0 * tempS * 100.0)/1024.0; // Calculamos la temperatura con la
fórmula

valor_nivel = (valor_lnivel*5.0/1024)+0.7;
Ph=(ph*14)/5;
//Vizualizacion de los datos en la LCD
lcd.setCursor(6,0);
lcd.print("pH:");
lcd.print(Ph);
lcd.setCursor(0,1);
lcd.print("Ni:");
lcd.setCursor(4,1);
lcd.print(valor_nivel);
lcd.print("m");
lcd.setCursor(10,1);
lcd.print("TEMP:");// Se muestra el dato
lcd.setCursor(16,1);
lcd.print(tempC);
lcd.print("C");
lcd.setCursor(0,2);
lcd.print("CAUDAL I: 180.45 L/m");
//lcd.print (caudal_L_m_DN50,2);
// lcd.print ("L/m");
lcd.setCursor(0,3);

```

```

lcd.print("CAUDAL S:");
lcd.print (caudal_L_m_YF_401,2);
lcd.print ("L/m");

for(int npasos=0; npasos <= 1200;npasos++){
vel_motor= map(vel,0,912,50 ,4000);
digitalWrite(salida_bomba,HIGH);
delayMicroseconds(vel_motor);
digitalWrite(salida_bomba,LOW);
delayMicroseconds(vel_motor);
}

if(digitalRead(nivel_1)== HIGH && aux==0){ //Condicon cuando se termine el
hipoclorito de calcio
digitalWrite(alarma,HIGH);
enviosms();
aux=1;
}
if(digitalRead(nivel_1)== LOW && aux==1)
{
aux=0;
digitalWrite(alarma,LOW);
}
if (valor_nivel <= 1.4){ //Condicion para abrir valvula
digitalWrite(salida_valvula,HIGH);

}

if (valor_nivel > 2.8){ //Condicion para cerrar valvula
digitalWrite(salida_valvula1,LOW);

}

if (now.hour()== 14 && now.minute() ==50 && now.second(<15)
{

enviosmtparametros();

}
frecuencia1 = ObtenerFrecuencia1(); //obtenemos la Frecuencia de los pulsos en Hz
caudal_L_m_YF_401 = frecuencia1/factor_conversion_YF_401;
frecuencia = ObtenerFrecuencia();
caudal_L_m_DN50 = frecuencia/factor_conversion_DN50; //calculamos el caudal
en L/m

}

```

```

//---Función que se ejecuta en interrupción-----

void Pulsos1 ()
{
  NumPulsos1 ++; //Se incrementa la variable de pulsos
}
void Pulsos (){

  NumPulsos++; //Se incrementa la variable de pulsos
}
//Envío de mensaje de alerta cuando se termine la solución
void enviosms(){
  for(int n=0; n<cantidadNum ; n++){
    Serial1.println("AT+CMGF=1");
    delay(1000);// ENVIAR EL COMANDO DE ENVIO DE SMS INCLUYENDO EL
DESTINATARIO DEL MENSAJE
    Serial1.println("AT+CMGS=\"" + numeros[n]+"\"");
    delay(100);
    Serial1.print("Nivel bajo de solución ");
    Serial1.print(char(0x1A));
    delay(2000);

  }
}
//Envío de parametros para verificar la calidad del agua
void enviosmsparametros (){

  for(int n=0; n<cantidadNum ; n++){
    Serial1.println("AT+CMGF=1");
    delay(200);// ENVIAR EL COMANDO DE ENVIO DE SMS INCLUYENDO EL
DESTINATARIO DEL MENSAJE
    Serial1.println("AT+CMGS=\"" + numeros[n]+"\"");
    delay(100);
    Serial1.print("ph");
    Serial1.print(ph);
    Serial.print("\n");
    Serial1.print("nivel");
    Serial1.print(valor_nivel);
    Serial.print("\n");
    Serial1.print("temperatura: ");
    Serial1.print(tempC);
    delay(500);
    Serial1.print(char(0x1A));
    delay(2000);
  }
}
}

```

ANEXO B

PROGRAMACIÓN PARA CALIBRAR EL SENSOR OBTENIEDO EL NUMERO DE PULSOS

```
//Programa para adquirir el número de pulsos del sensor de caudal
volatile long NumPulsos; //Variable para la cantidad de pulsos recibidos
int PinSensor = IO_6; //Sensor conectado en la entrada del PLC
//---Función que se ejecuta en interrupción
void ContarPulsos ()
{
  NumPulsos++; //Incrementa la variable de pulsos
}
void setup()
{
  Serial.begin(9600); //Inicializa la comunicación serial
  pinMode (PinSensor, INPUT_PULLUP); // Habilita la resistencia interna de pullup
  y declara como entrada al pin del PLC
  attachInterrupt (digitalPinToInterrupt(PinSensor), ContarPulsos, RISING) ;//
  Ejecuta la Interrupción 0(Pin2), función, Flanco de BAJADA)
  interrupts (); //Se habilita las interrupciones
}
void loop ()
{
  //Se envía los datos por el puerto serie
  Serial.print ("Numero de Pulsos = ");
  Serial.println (NumPulsos);
}
```


ANEXO C

HOJA DE DATOS TÉCNICOS DEL SENSOR DE TEMPERATURA LM35



LM35 Precision Centigrade Temperature Sensors

General Description

The LM35 series are precision integrated-circuit temperature sensors, whose output voltage is linearly proportional to the Celsius (Centigrade) temperature. The LM35 thus has an advantage over linear temperature sensors calibrated in ° Kelvin, as the user is not required to subtract a large constant voltage from its output to obtain convenient Centigrade scaling. The LM35 does not require any external calibration or trimming to provide typical accuracies of $\pm 1/4^{\circ}\text{C}$ at room temperature and $\pm 3/4^{\circ}\text{C}$ over a full -55° to $+150^{\circ}\text{C}$ temperature range. Low cost is assured by trimming and calibration at the wafer level. The LM35's low output impedance, linear output, and precise inherent calibration make interfacing to readout or control circuitry especially easy. It can be used with single power supplies, or with plus and minus supplies. As it draws only $60\ \mu\text{A}$ from its supply, it has very low self-heating, less than 0.1°C in still air. The LM35 is rated to operate over a -55° to $+150^{\circ}\text{C}$ temperature range, while the LM35C is rated for a -40° to $+110^{\circ}\text{C}$ range (-10° with improved accuracy). The LM35 series is available pack-

aged in hermetic TO-46 transistor packages, while the LM35C, LM35CA, and LM35D are also available in the plastic TO-92 transistor package. The LM35D is also available in an 8-lead surface mount small outline package and a plastic TO-220 package.

Features

- Calibrated directly in ° Celsius (Centigrade)
- Linear + 10.0 mV/°C scale factor
- 0.5°C accuracy guaranteeable (at +25°C)
- Rated for full -55° to $+150^{\circ}\text{C}$ range
- Suitable for remote applications
- Low cost due to wafer-level trimming
- Operates from 4 to 30 volts
- Less than $60\ \mu\text{A}$ current drain
- Low self-heating, 0.08°C in still air
- Nonlinearity only $\pm 1/4^{\circ}\text{C}$ typical
- Low impedance output, $0.1\ \Omega$ for 1 mA load

Typical Applications

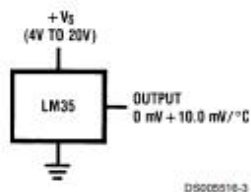
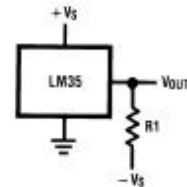


FIGURE 1. Basic Centigrade Temperature Sensor
($+2^{\circ}\text{C}$ to $+150^{\circ}\text{C}$)



ANEXO D

MOSPEC

PLASTIC MEDIUM-POWER COMPLEMENTARY SILICON TRANSISTORS

...designed for general-purpose amplifier and low speed switching applications

FEATURES:

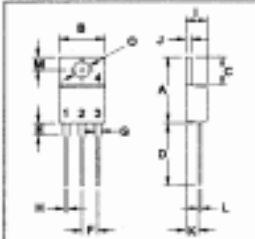
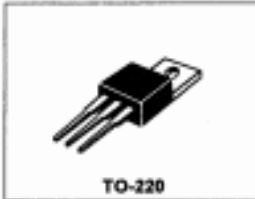
- * Collector-Emitter Sustaining Voltage
 $V_{CE(sus)}$ = 60 V (Min) - TIP120, TIP125
 = 80 V (Min) - TIP121, TIP126
 = 100 V (Min) - TIP122, TIP127
- * Collector-Emitter Saturation Voltage
 $V_{CE(sat)}$ = 2.0 V (Max.) @ $I_C = 3.0$ A
- * Monolithic Construction with Built-in Base-Emitter Shunt Resistor

NPN	PNP
TIP120	TIP125
TIP121	TIP126
TIP122	TIP127

5.0 AMPERE
DARLINGTON
COMPLEMENTARY SILICON
POWER TRANSISTORS
60-100 VOLTS
65 WATTS

MAXIMUM RATINGS

Characteristic	Symbol	TIP120 TIP125	TIP121 TIP126	TIP122 TIP127	Unit
Collector-Emitter Voltage	V_{CE0}	60	80	100	V
Collector-Base Voltage	V_{CB0}	60	80	100	V
Emitter-Base Voltage	V_{EB0}	5.0			V
Collector Current-Continuous -Peak	I_C I_{CM}	5.0 8.0			A
Base Current	I_B	120			mA
Total Power Dissipation @ $T_C = 25^\circ\text{C}$ Derate above 25°C	P_D	65 0.52			W W/ $^\circ\text{C}$
Operating and Storage Junction Temperature Range	T_J, T_{STG}	- 65 to +150			$^\circ\text{C}$

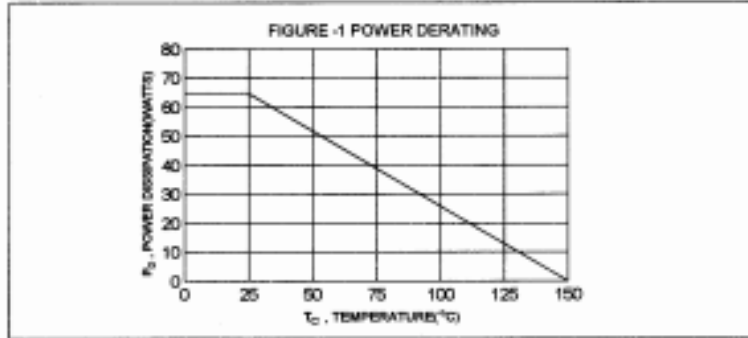


PIN 1 BASE
2 COLLECTOR
3 EMITTER
4 COLLECTOR(CASE)

DIM	MILLIMETERS	
	MIN	MAX
A	14.66	15.31
B	9.78	10.42
C	5.01	6.52
D	13.06	14.62
E	3.57	4.07
F	2.42	3.06
G	1.12	1.36
H	0.72	0.96
I	4.22	4.66
J	1.14	1.36
K	2.20	2.97
L	0.33	0.55
M	2.48	2.96
O	3.70	3.90

THERMAL CHARACTERISTICS

Characteristic	Symbol	Max	Unit
Thermal Resistance Junction to Case	$R_{\theta jc}$	1.92	$^\circ\text{C/W}$



ANEXO E

Pruebas de funcionamiento y toma de muestras del sistema de cloración automático





