



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA ISRAEL
ESCUELA DE POSGRADOS “ESPOG”

MAESTRÍA EN ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN
Resolución: RPC-SO-09-No.265-2021

PROYECTO DE TITULACIÓN EN OPCIÓN AL GRADO DE MAGISTER

Título del proyecto:
Sistema IoT en un dispositivo móvil para monitoreo y control de una planta de suministro de agua potable del barrio Buena Vista de la parroquia Nueva Loja, cantón Lago Agrio.
Línea de Investigación:
Ciencias de la ingeniería aplicadas a la producción, sociedad y desarrollo sustentable
Campo amplio de conocimiento:
Ingeniería, industria y construcción
Autor:
Espinoza Ramírez Welington Alfredo
Tutor/a:
Mgs. Wilmer Fabián Albarracín Guarocho

Quito – Ecuador

2025

APROBACIÓN DEL TUTOR



Yo, Mgs. Wilmer Fabián Albarracín Guarochico con C.I:1713341152 en mi calidad de Tutor del proyecto de investigación titulado: Sistema IoT en un dispositivo móvil para monitoreo y control de una planta de suministro de agua potable del barrio Buena Vista de la parroquia Nueva Loja, cantón Lago Agrio. Elaborado por: Espinoza Ramírez Welington Alfredo, de C.I: 1721528642, estudiante de la Maestría: en Electrónica y Automatización de la **UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA ISRAEL (UIT)**, como parte de los requisitos sustanciales con fines de obtener el Título de Magister, me permito declarar que luego de haber orientado, analizado y revisado el trabajo de titulación, lo apruebo en todas sus partes.

Quito, 14 de Marzo del 2025

Firma

DECLARACIÓN DE AUTORIZACIÓN POR PARTE DEL ESTUDIANTE



Yo, Espinoza Ramírez Welington Alfredo con C.I: 1721528642 autor/a del proyecto de titulación denominado: Implemento de un sistema IoT en un dispositivo móvil para monitoreo y control de una planta de suministro de agua potable del barrio Buena Vista de la parroquia Nueva Loja, cantón Lago Agrio. Previo a la obtención del título de Magister en Electrónica y automatización.

1. Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las instituciones de educación superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar el respectivo trabajo de titulación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.
2. Manifiesto mi voluntad de ceder a la Universidad Tecnológica Israel los derechos patrimoniales consagrados en la Ley de Propiedad Intelectual del Ecuador, artículos 4, 5 y 6, en calidad de autor@ del trabajo de titulación, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente. En concordancia suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital como parte del acervo bibliográfico de la Universidad Tecnológica Israel.
3. Autorizo a la SENESCYT a tener una copia del referido trabajo de titulación, con el propósito de generar un repositorio que democratice la información, respetando las políticas de prosperidad intelectual vigentes.

Quito, 14 de Marzo del 2025

Firma

TABLA DE CONTENIDO

APROBACIÓN DEL TUTOR	2
DECLARACIÓN DE AUTORIZACIÓN POR PARTE DEL ESTUDIANTE	3
INFORMACIÓN GENERAL	7
Contextualización del tema	8
Problema de investigación	9
Objetivo General.....	11
Objetivos específicos	11
Vinculación con la sociedad y beneficiarios directos	11
CAPÍTULO I: DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO	13
1.1. Contextualización general del estado del arte	13
1.2. Proceso investigativo metodológico	15
CAPÍTULO II: PROPUESTA.....	17
2.1. Fundamentos teóricos aplicados.....	17
2.1.1. Introducción a la Gestión del Agua Potable.....	17
2.1.2. Tecnología del Internet de las Cosas (IoT)	18
2.1.3. Principios de Automatización y Control.....	20
2.1.4. Procesamiento de Datos y Análisis en Tiempo Real	22
2.1.5. Modelos de Sostenibilidad en la Gestión del Agua	24
2.2. Descripción de la propuesta	26
2.3. Matriz de articulación de la propuesta.....	39
2.4. Análisis de resultados. Presentación y discusión	40
CONCLUSIONES.....	41
RECOMENDACIONES.....	42
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	43

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Matriz de articulación	39
---	----

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 <i>Barrio Buena Vista de la parroquia Nueva Loja, Cantón Lago Agrio.</i>	10
Figura 2 Proceso de Flujo de la propuesta.....	26
Figura 3 Interface de usuario - Inicio	30
Figura 4 Interface de usuario - Planta.....	30
Figura 5 Interface de usuario - Control bomba	31
Figura 6 Programación del PLC	32
Figura 7 Pantalla principal del sistema en dispositivo móvil	32
Figura 8 Visualización de variables Modbus.....	33
Figura 9 Configuración de conexión Modbus TCP/IP	34
Figura 10 Configuración de red en LOGO! Soft Comfort	35
Figura 11 Mapa de direcciones Modbus.....	35

INFORMACIÓN GENERAL

El acceso y la gestión del agua potable son constitutivos de uno de los principales problemas a los que deben hacer frente muchas poblaciones - en especial aquellas con escasas infraestructuras - y la tecnología, por su lado, ha permitido abrir nuevas oportunidades, siendo el IoT (o Internet de las Cosas) una de las soluciones más innovadoras para mejorar la eficiencia y la sostenibilidad en el uso de los recursos hídricos. En este contexto, el presente trabajo se ocupa de la implementación de un sistema IOT, mezclado con un dispositivo móvil, con la idea de monitorear y controlar una planta de agua potable en el barrio Buena Vista, parroquia Nueva Loja (cantón Lago Agrio, Ecuador).

Porque el IoT aprovecha el uso de sensores para capturar datos, según esta tecnología, es posible ir capturando y analizando datos en tiempo real, de manera que podamos supervisar el funcionamiento del sistema de distribución y controlarlo a distancia. Lejos de ser una fantasía, una serie de investigadoras han demostrado cómo la implementación de estos sistemas puede conducir a la optimización de las operaciones en las plantas de tratamiento, a la reducción de la pérdida por fugas y al incremento de los volúmenes de agua potable suministrado en las comunidades. Un punto clave de esta gestión del agua es que los sistemas IoT deben conectarse a alguna plataforma de la nube. Esto hace posible no sólo el acceso a grandes volúmenes de datos, sino que permite gestionarlos y analizarlos mediante herramientas informáticas de última generación, lo que a su vez permite mejorar la toma de decisiones. Esta capacidad resulta esencial para identificar patrones de consumo, detectar irregularidades y optimizar el uso de energía en tiempo real (Catacora & Valencia, 2021). Dentro del contexto de este trabajo y en el propósito de poner en práctica una solución de un sistema IoT en dispositivos móviles, se propondrá una interfaz de usuario intuitiva y accesible, la cual hará que el monitoreo y el control del sistema de suministro de agua potable sean significativamente más simples y sencillos.

Esta solución hará posible que los operarios locales controlen y supervisen las condiciones del sistema, para tomar decisiones muy importantes en relación con mantener el servicio a la velocidad que el contexto permita y a la calidad del mismo, así como también reaccionar rápidamente ante cualquier incidencia. Si bien este sistema exige la integración de diversos elementos tecnológicos como la implementación de los sensores de calidad del agua, dispositivos de control automático y plataformas de comunicación de manera inalámbrica, la conjunción de tal forma de trabajo sobresaliente, como se describe, formará un sistema sólido y escalable a contextos y necesidades locales. El procesamiento de datos en la nube permitirá también un análisis que sea más avanzado, que acabe no sólo con el monitoreo de las condiciones del sistema, sino que incida en la detección de problemas. Este último tipo de función es de gran relevancia en las áreas donde el acceso a los recursos hídricos es escaso y donde se utilizaba la escasez del recurso para el desarrollo sustentable.

Esta propuesta no sólo tendría el objetivo de poner en aplicación una solución de un tipo tecnológico, sino que, al mismo tiempo, ayudaría a conseguir el desarrollo sustentable incrementando la calidad de vida, facilitaría un suministro de agua potable de forma clara y eficiente, se plantearía para favorecer a la salud pública y prevenir el derroche de recursos, se beneficiarían las capacidades de resiliencia frente a los cambios de tipo ambiental. Los resultados de esta investigación deberían proporcionar un modelo para otras comunidades con las que se pueda hacer un aplicación, promoviendo el uso de tecnologías avanzadas en el manejo del agua y, con ello, apoyando la conservación y el desarrollo sustentable de la región.

Contextualización del tema

Los sistemas de abastecimiento de agua potable para el consumo humano en entornos urbano o rural frecuentemente no cuentan con la atención correcta por parte de las administraciones locales; a menudo, la responsabilidad de edificar y mantener la infraestructura del agua es asumida por las comunidades con la finalidad de abaratar los costes de las nuevas inversiones y los costes asociados al mantenimiento pedagógico (Falla & Díaz, 2023). A la manera que este tipo de soluciones puede ayudar a las administraciones locales en la minimización de la carga financiera y contable sobre sus presupuestos, la responsabilidad de la comunidad puede también ocasionar problemas importantes en términos de sostenibilidad en la gestión, e incluso en el rendimiento operativo. Así, en el caso de las plantas de tratamiento de agua potable, una valiosa variable es contar con un suministro de agua potable que sea confiable y seguro; la operación de plantas de tratamiento convencional, que normalmente funcionan en base a controlar manualmente el proceso, muchas veces escapa del foco de la operación eficiente, buscando así una manera de conseguir la calidad del servicio.

En este sentido, tecnologías como el Internet de las Cosas (IoT) se vislumbran como una opción para mejorar la automatización, así como la gestión del control de situaciones y los procesos de la automatización. Y para los sistemas IoT consiste en ofrecer una alimentación de agua potable de manera ininterrumpida ajustado a las necesidades del entorno (Ángeles, 2024). Sin embargo, a pesar del crecimiento en la implantación de sistemas IoT para la automatización en algunos procesos, todavía no existe una arquitectura o modelo de referencia único que oriente el avance y la implementación de este tipo de soluciones. Esto hace que sea difícil crear soluciones IoT, sobre todo en los contextos con un escaso potencial y variedad de necesidades, tal y como es el caso del sistema de abastecimiento de agua del barrio Buena Vista, el cual se encuentra en la parroquia Nueva Loja del cantón Lago Agrio. Buena Vista es una comunidad situada al noroeste de Nueva Loja y está compuesta por aproximadamente 60 familias que dependen de un sistema local de agua potable.

El sistema fue implementado por primera vez en 2009, con la construcción de una perforación y un tanque elevado para la distribución del agua potable. Posteriormente, en 2014, se hicieron extensiones en las redes de distribución y se instalaron medidores del agua. El uso de medidores permitió realizar un control más eficiente del recurso y garantizar que hubiera una distribución del agua más justa entre los habitantes. En 2013 se llevó a cabo una propuesta de titulación para una construcción de un tablero de control automático de un sistema de agua potable de Buena Vista. Las extensiones del sistema exigieron un tablero con mejoras en la instrumentación, como la instalación de sensores de nivel y supervisores de voltaje, e incorporar un sistema de interfaz hombre-máquina (HMI) en el marco de una pantalla interactiva. Las extensiones proporcionaron un mejor control del sistema con un recurso más administrado, reduciendo la cantidad de agua que se puede desperdiciar, y así optimizar el uso de los equipos de bombeo, dando como resultado un recurso más confiable y mayor satisfacción entre los usuarios (Espinoza, 2023).

La ejecución de estas tecnologías ha ayudado a dar un remozamiento de la economía de la junta administradora del sistema de agua potable, disminuyendo los costos operativos y reduciendo la cantidad de agua que se pierde por fugas o su uso no eficiente. En la actualidad, la administración se encuentra a cargo de una junta administradora que está conformada por un presidente, una tesorera, una secretaria y un operador, siendo este último el encargado de la operación y mantenimiento del sistema en su cotidiano (Espinoza, 2023).

Por tanto, en el marco de un contexto industrial y empresarial más extenso, se considera que los sistemas automatizados fortalecidos por IoT son una oportunidad para mejorar la eficiencia operativa y la sostenibilidad de los diferentes sectores. Por la manera en que estos sistemas son capaces de recolectar datos y analizarlos en tiempo real, se facilita la toma de decisiones y se puede gestionar mucho mejor la información, lo cual es importantísimo en la medida que se considera cada vez más competitivo e innovador en el uso de tecnología. La aplicación de ese tipo de tecnologías en la gestión de agua potable no solo persigue resolver la necesidad cubierta de las comunidades de agua potable, sino que también marca el camino a seguir para hacerlo en los otros sectores industriales para garantizar un uso muy eficiente y sostenible del agua potable.

Problema de investigación

El barrio Buena Vista, que forma parte de la parroquia Nueva Loja en el cantón Lago Agrio, sufre numerosas distorsiones en el manejo y la distribución de agua potable. A pesar de contar con un sistema de suministro de la administración pública desde el 2014, el procedimiento de control manual conducido solamente de forma asistida y el deficiente o nulo sistema de automatización impiden alcanzar soluciones exitosas y un suministro continuo del agua. Estas limitaciones tecnológicas, que

afectan o colapsan un circuito cíclico del agua, han permitido el fracaso del recurso hídrico, incluso del cercado, lo cual es esencial para llevar a cabo una mejora que mantenga la calidad de vida de los habitantes y promueva la sostenibilidad de la región.

Figura 1

Barrio Buena Vista de la parroquia Nueva Loja, Cantón Lago Agrio.



La situación se complica debido a que las infraestructuras hídricas en comunidades pequeñas y rurales, como Buena Vista, frecuentemente son subvaloradas por las autoridades locales. Esto provocará que sean las propias comunidades las que asuman el requerimiento de la manutención y operación. Por lo que, también se configurará un escenario donde la optimización de los recursos y el recorte de las pérdidas de agua surjan como constantes, pero en ocasiones poco atendidas. La ausencia de controles periódicos y de prontas respuestas a las incidencias técnicas afectará a la eficacia del sistema y al grado de satisfacción de los usuarios.

Dadas estas carencias, se plantea la posibilidad de la puesta en marcha de un sistema del Internet de las Cosas (IoT) que permita la vigilancia y control automatizado del suministro de agua potable. No obstante, la inexistencia de una arquitectura estandarizada, sumado a la complejidad que requiere la inclusión de nuevas tecnologías dificultan el desarrollo de soluciones concretas adaptadas a las necesidades de esta comunidad. A lo que se le añade la necesidad de investigar formas de inclusión de tecnologías IoT que superen la restricción de escasez de recursos, que requiera conseguir a la vez que introducir la eficacia operativa del sistema y el desarrollo sostenible del mismo.

El presente proyecto de investigación se deriva de la necesidad de dar respuesta a estas limitaciones mediante la creación de un sistema IoT que optimice la gestión del agua potable en Buena Vista. La investigación se centrará en identificar aquellos componentes tecnológicos más idóneos, así como la creación de una interfaz de usuario accesible y la evaluación del sistema en cuanto a la mejora

del suministro de agua. Este planteamiento, pues, busca resolver los problemas existentes sin dejar de lado el hecho de que sirva para crear una solución replicable en otras comunidades que presenten particularidades similares, como la mejora del desarrollo sostenible y de la calidad de vida de toda la región.

Objetivo General

Implementar un sistema IoT en un dispositivo móvil para monitoreo y control de una planta de suministro de agua potable del barrio Buena Vista de la parroquia Nueva Loja, cantón Lago Agrio.

Objetivos específicos

- Determinar la interfaz de comunicación IoT que permita interactuar con el tablero de control automatizado.
- Elaborar la comunicación con la nube para supervisión en conjunto con sensores, supervisores, actuadores del sistema de agua potable.
- Procesar datos en la nube mediante el sistema IoT en un dispositivo móvil para supervisión y control remoto del tablero de control automatizado del sistema de suministro de agua potable.
- Validar resultados mediante pruebas de funcionamiento al sistema IoT en el dispositivo móvil y el tablero de control automatizado del sistema de suministro de agua potable.

Vinculación con la sociedad y beneficiarios directos

El proyecto de instauración de un sistema IoT para la supervisión y control de una planta de suministro de agua potable en el barrio Buena Vista, perteneciente a la parroquia de Nueva Loja en el cantón Lago Agrio, tiene como objetivo principal establecer una conexión significativa con la comunidad local y generar un impacto positivo en su entorno social. Mediante esta iniciativa, se busca optimizar la gestión del agua potable, recurso esencial para la calidad de vida y el desarrollo sostenible de la población.

La colaboración con la comunidad se concretará a través de la capacitación y el asesoramiento técnico a los miembros de la junta administradora del sistema de agua, así como a los operadores locales. Tal razón permitirá llevar a cabo lo último y, en consecuencia, potenciar y desarrollar la capacidad de los habitantes del barrio que contribuirán en el manejo eficiente de la infraestructura tecnológica que se va a instalar. El llevarlo a cabo está descrito en líneas generales, y consiste en la realización de sesiones de capacitación que tengan por objeto dotar a los habitantes y a los operadores de las herramientas necesarias para el uso y mantenimiento del sistema IoT con vistas a su apropiación y sostenibilidad futuras. En paralelo, se atenderá el periodo durante la ejecución del citado proyecto

y se llevará a cabo asesoramiento durante el mismo, facilitando que los beneficiarios consigan habilidades técnicas del sistema IoT para su uso. Dicha transferencia de conocimiento no solo conducirá a empoderar a la comunidad, sino que paralelo a ello, llevará a que sigan haciendo un uso más eficiente y consciente de los recursos hídricos que tienen a su disposición.

El impacto social que tendrá este proyecto se dará gracias a la mejora en la calidad del servicio de agua potable, lo que generará un impacto directo en la salud pública y el bienestar de los habitantes del barrio Buena Vista. Al asegurar un suministro ininterrumpido y de calidad, se disminuirán los riesgos asociados a enfermedades transmitidas por el agua, mejorando así la calidad de vida de las familias. Adicionalmente, la implementación del sistema IoT estimulará prácticas sostenibles en la gestión de recursos, ofreciéndose como un modelo replicable en otras comunidades con características análogas.

En el plano de las aportaciones tanto científicas como de la misma base del conocimiento, este proyecto permitirá obtener un útil recurso en forma del correspondiente documento de investigación elaborado la cual quedará así pues, a disposición para su consulta y referencia por la comunidad local y otras personas interesadas en poner en práctica tecnologías IoT para la gestión de los recursos hídricos, el cual a su vez habrá de servir como un manual práctico para futuros proyectos similares y que contendrá información técnica, metodológica y operativa que puede ser utilizado por otras personas profesionales y entidades que deseen implantar soluciones innovadoras para el tratamiento del agua; haciendo que el material producido se convierta en una fuente educativa de formación de un nuevo talento en el campo de la automatización y control de sistemas de agua, y sería también una contribución a la formación continua de la comunidad e iría también en la divulgación de conocimientos técnicos aplicables.

Esto beneficiará directamente a los residentes del barrio Buena Vista, ya que se verán beneficiados por poseer un sistema de suministro de agua más eficiente y fiable y por el hecho de que los miembros de la junta administradora y del operador del sistema se capacitaran y hicieran asesoría técnica que mejorará sus competencias en el campo de la gestión y operación del sistema. Y a un nivel más amplio, otras comunidades y municipios que puedan sufrir de problemas similares podrán beneficiarse, al menos parcialmente, de lo que se extraiga de las documentaciones concluidas en la investigación, permitiendo así la replicación de soluciones tecnológicas innovadoras en el ámbito de la gestión del agua potabilizada.

CAPÍTULO I: DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

En este capítulo se presenta la pormenorizada ejecución del proyecto de titulación, en el que se desarrolló un sistema de automatización basado en Internet de las Cosas (IoT), con la finalidad de optimizar la gestión del agua potable en el sector Buena Vista de la parroquia Nueva Loja. Una de las motivaciones de la ejecución del proyecto es el aprovechamiento de tecnologías emergentes que permitan tener un acceso más fiable y continuado de este recurso escaso, lo que permitirá solucionar problemas concretos con respecto al monitoreo y control situados entre el agua administrada por las infraestructuras, el uso de esta en las comunidades dependientes de recursos limitados y la forma en la que los mismos tienen que extinguir las realidades de agua potable.

Para solventar las carencias tradicionales en la gestión del agua potable, el proyecto saca partido de investigaciones y revisiones documentales que brindan sustento a la existencia de este, pero enfatiza una tendencia en la utilización de un sistema IoT al momento de gestionar el agua potable y a su vez aflora los desafíos que pueden suponer la misma. Tal revisiones e investigaciones documentales han jugado un papel importante al momento de entender la necesidad del sistema de automatización de los sistemas de distribución de agua que poseen un alto grado de dependencia con respecto a sistemas de control manuales que pueden alterar la calidad y la abastecimiento de agua.

Para la ejecución del sistema se combina teoría y práctica con el fin de dar cumplimiento a sus ideas fundamentales de diseño del sistema IoT. En este sentido y partiendo de los antecedentes de la información hasta la creación de un prototipo funcional, etapa tras etapa ha sido premeditada y planificando la propia ejecución, ya que nos permite acomodar el sistema a las condiciones de la localidad barrio Buena Vista.

Además, a través de la observación directa, se ha podido distinguir información clave sobre las necesidades de la comunidad, lo cual ha permitido un diseño más centrado en su realidad. Este proceso de indagación y desarrollo se ha llevado a cabo de una manera interactiva y participativa, esto es, de manera que se pudieran ir haciendo ajustes gracias a los resultados obtenidos y permitiendo generar saberes que pueden ser utilizados en otros contextos similares. Con la puesta en práctica de este sistema IoT en Buena Vista se espera mejorar la calidad de distribución del agua potable y el uso que se le da a la misma sea más responsable y eficiente, beneficiándose la comunidad y el entorno medioambiental.

1.1. Contextualización general del estado del arte

El futuro de este proyecto de titulación aborda la propuesta de la aplicación de un sistema de IoT de tal forma que se contemplen y resuelvan problemas concretos del monitoreo y control de la disponibilidad de agua potable, en tiempo real. Para atender los problemas del objeto de estudio, se

identificó que es necesario el incremento en la eficiencia de los sistemas de distribución de agua en comunidades con recursos escasos, considerando que las infraestructuras y sistemas existentes presentan carencias muy relevantes. Se ha decidido realizar la investigación en un hábitat donde la falta de automatización y el control manual resultan en un servicio deficiente. Se espera que la fundamentación del presente trabajo esté alimentada por recursos documentales que incluyan artículos científicos recientes sobre el uso del IoT para la gestión del agua, revisiones sistemáticas y estudios de caso que recojan el estado de las tendencias y líneas de trabajo en el ámbito del aprovechamiento de tecnologías de IoT en la gestión del agua.

Los criterios de búsqueda de información se fundamentarán en la relevancia y actualización de los documentos, priorizando aquellos con un periodo en torno a los 10 años en el marco de la búsqueda para soluciones tecnológicas innovadoras para la gestión de los recursos hídricos. Esta revisión permitirá poder contextualizar el futuro del proyecto en las tendencias en el resto del mundo como última etapa de poder transferir este tipo de conocimientos y tecnologías a otros ambientes similares. Desde la perspectiva tecnológica, se ha podido incursionar en diferentes artículos recientes donde se obtienen soluciones para la gestión del agua aprovechando el IoT; por ejemplo, podemos nombrar un artículo de Rai et al. (Rai et al., 2024) donde se desarrolló un sistema inteligente para el monitoreo de calidad del agua a partir del IoT y el aprendizaje automático, superando la ordinaria precisión en el monitoreo y la capacidad de respuesta en tiempo real (Rai et al., 2024).

Otro artículo que se considera pertinente es uno de Hamid et al. En un estudio realizado por Hamid y colaboradores (2020), que implementó un sistema de monitoreo de la calidad del agua en Malasia mediante tecnología IoT, el cual utiliza sensores para medir parámetros esenciales como el pH, la temperatura y la turbidez, y logró resultados prometedores en la detección temprana de contaminantes. Por otro lado, Kumar y Samalla (2019) propusieron un sistema en India basado en tecnologías IoT para optimizar el manejo del agua en entornos urbanos, lo que redundó en un uso más racional del agua y una disminución de las pérdidas del preciado líquido. De la misma manera, Pasika y Gandla (2020) desarrollaron un sistema de monitoreo en entornos rurales que pone de manifiesto la viabilidad económica y la puesta en marcha de estas tecnologías en parajes donde la infraestructura es escasa.

Todas estas investigaciones dan soporte a la realización de este proyecto porque muestran ejemplos reales de puesta en marcha de las tecnologías IoT en el manejo de agua en diferentes contextos. El estudio de la literatura previa muestra caminos y estrategias de investigación, lo cual es clave a la hora de tomar decisiones sobre las mejores tecnologías y métodos en el trabajo a realizar. Los resultados de las investigaciones anteriores permiten, por otra parte, categorizar ideas y

tecnologías disponibles, y la categorización facilita un uso más amplio de enfoques de solución innovadores y eficaces.

Por último, también se han evidenciado líneas de atención aún no cerradas, como la integración de sistemas IoT, que podría considerarse como un valor añadido en el proyecto de manera que contribuya a un manejo más racional y sostenible del agua en el barrio de Buena Vista.

1.2. Proceso investigativo metodológico

Este proyecto de titulación está constituido como un tipo de investigación aplicada, que sirve para intentar resolver una problemática específica relacionada con la gestión del agua potable; el proyecto consiste en poner en marcha un sistema basado en el Internet de las Cosas (IoT) en el barrio Buena Vista, parroquia Nueva Loja. Este enfoque intenta establecer soluciones tecnológicas operativas que, además, son susceptibles de implementación, y que contribuyen a optimizar la eficacia y la sostenibilidad de la distribución del agua en comunidades rurales. En el desenvolvimiento del proyecto, se combinan métodos teóricos con métodos prácticos.

La parte teórica se basa en la revisión de la literatura sobre el uso del IoT orientado a la gestión del agua, la cual permitió identificar los conceptos básicos y el enfoque innovador del mismo y su aplicabilidad en la realidad local. Esta revisión abarca artículos científicos, estudios de caso, revisiones sistemáticas, que constituyen la base teórica que sustenta el diseño de la implementación del sistema. En cuanto a la parte práctica, se diseñó y se prototipó el mismo sistemas IoT aplicado a un escenario controlado, ajustándolo de manera que se asegure su efectividad antes de aplicar la solución en el entorno real. La recogida de datos se basó en la observación directa, que permite comprender mejor la forma de funcionamiento actual del sistema de prestación del agua y los problemas que enfrenta la comunidad.

Esta metodología ha sido capaz de ayudar a proponer una solución que se adapte mejor a la necesidad particular del barrio Buena Vista, en el sentido de poder optimizar el acceso y uso del recurso hídrico. Esta técnica permite de forma precisa conocer las dificultades que se presentan durante el funcionamiento y la estructura del sistema, así como las condiciones del entorno que inciden en el rendimiento de tal sistema. De esta manera se puede caracterizar con gran exactitud y objetividad las necesidades y problemas presentados por el sistema, lo que puede facilitar una base firme para el diseño del nuevo sistema que integra tecnología IoT (Sampieri y Torres, 2023).

La población objeto estuvo constituida por todos los vecinos del barrio Buena Vista, que se encuentran en orden de las 20 familias y por la junta administradora del sistema de agua existente en el barrio. La metodología de trabajo que aportó el marco de trabajo en el actual proyecto estuvo basada en una arquitectura iterativa y participativa que permitió modificar el diseño del sistema IoT

en función de los resultados que se obtenían en cada momento del proceso de diseño. Se realizaron en una primera etapa estudios de viabilidad y pruebas piloto para comprobar el funcionamiento en el sentido de viabilidad técnica del sistema propuesto.

Posteriormente, se desarrolló el prototipo atendiendo y recogiendo las opiniones y sugerencias de los usuarios finales. Finalmente, se llevó a cabo una implementación escalonada del sistema para el campo, evaluando las métricas obtenidas, así como los ajustes necesarios para conseguir que funcionase como era deseado y que fuesen sostenibles en el tiempo. El diseño del marco de trabajo del sistema no solo fue capaz de solucionar el problema de la gestión del agua del barrio Buena Vista, sino que a la vez permitió generar conocimiento aplicable a otros contextos similares.

CAPÍTULO II: PROPUESTA

2.1. Fundamentos teóricos aplicados

2.1.1. *Introducción a la Gestión del Agua Potable*

El acceso al agua para uso humano implica un proceso de planificación, distribución y gestión del agua. Este proceso también incluye un proceso de captación, potabilización, almacenamiento y distribución del agua para uso humano, asegurando el cumplimiento de las características de calidad necesarias. Una buena gestión del agua debe no sólo cubrir las necesidades básicas de la población humana, sino que debe también establecer el desarrollo sostenible desde el punto de vista social y económico. El objetivo principal de la gestión del agua potable es conseguir el acceso al agua potable para el uso humano de forma continua, equitativa y que evite todo tipo de derroche del agua potable.

Para ello, la gestión del agua debe adaptarse a los retos que suponen el cambio climático, el crecimiento de la población humana y la disponibilidad del agua. Para ello hay que trabajar con una forma de pensar que adopte la visión holística que establecen cada una de las disciplinas del conocimiento, la ingeniería, la biología, la economía, la sociología, etc., lo que nos permitiría crear estrategias y políticas que puedan asegurar que el acceso al agua potable se mantenga para la generación presente y las futuras. La calidad del agua potable se convierte en un elemento esencial del bienestar humano y del bienestar de la comunidad. Para poder utilizar el agua potable con garantías de seguridad el agua debe estar libre de contaminantes de tipo químico, biológicos y físicos, contaminar el agua haría que no fuese apta para el uso humano y eso sería un grave riesgo para la salud.

La calidad del agua puede verse alterada por la posible presencia de determinadas especies bacterianas, la contaminación por metales pesados, y la presencia de ingredientes activos de pesticidas que son la causante de diversas enfermedades como la gastroenteritis, el cólera, el envenenamiento por biocidas, entre otras. Para ello, para proteger la calidad del agua de consumo humano, es fundamental establecer estrictos mecanismos que regulen su vigilancia y control permanente. A tal efecto, organizaciones internacionales como la Organización Mundial de la Salud (OMS) han trazado unas pautas que se adaptan a las necesidades de cada país. La aplicación de tratamientos adecuados, (el tratamiento del agua por filtración y desinfección) es igualmente importante para eliminar los contaminantes y garantizar que el agua que es distribuida sea apta para el consumo humano. Una buena gestión del agua no únicamente mejora la salud de las personas, sino que además favorece la sostenibilidad del desarrollo de las comunidades.

La conexión entre la calidad del agua y la salud pública subraya la importancia de una gestión adecuada del agua potable. Un suministro eficaz no solo evita la aparición de enfermedades, sino que también contribuye al desarrollo socioeconómico de las comunidades al mejorar las condiciones de

vida y reducir los costos asociados a la atención médica por problemas relacionados con el agua. Por esta razón, garantizar la calidad del agua se convierte en un aspecto clave en la administración de los recursos hídricos, como mencionan Aguilar y Díaz (2020).

La gestión del agua potable en poblaciones rurales presenta problemáticas específicas derivadas de la insuficiencia del capital infraestructural junto a un escaso capital económico, y el escaso acceso o imposibilidad para el uso de tecnología avanzada. Las poblaciones rurales a menudo dependen de fuentes hídricas disponibles, tales como pozos o ríos, que a menudo se encuentran contaminadas o que presentan una calidad o cantidad muy discutible. La escasa infraestructura para la captación, tratamiento y distribución del agua limita su capacidad de garantizar un suministro seguro y fiable, tal como advierte la investigación de Morales-Tejeiro et al. (2021).

Otro reto importante es el escaso recurso económico y técnico que resulta necesario para la operación y el mantenimiento de los sistemas de suministro de agua; muchas poblaciones carecen de recursos económicos suficientes para una tecnología de tratamiento y distribución, aunque la falta del personal formado para la operación y el mantenimiento también puede dar lugar a fallos en el servicio y a la degradación de los sistemas de infraestructura imperantes (Nicora et al., 2021).

La gestión del agua en comunidades rurales debe asumir también aspectos sociales y culturales, tales como la justicia en el acceso al suministro de agua y la participación de la comunidad en la toma de decisiones. El diseño de las estrategias de gestión del recurso hídrico tiene que ser inclusivo de manera que se acomoden las necesidades y las capacidades de la comunidad, incluso con la educación e implicación de la comunidad en la conservación del agua y el mantenimiento de la infraestructura del agua. Superar estos retos requiere un enfoque integrado que contemple la inversión en infraestructura, la formación técnica, y la implicación de la comunidad para mejorar la gestión del agua potable en la comunidad (Soares, 2021).

2.1.2. Tecnología del Internet de las Cosas (IoT)

El Internet de las Cosas (IoT) representa una tecnología que integra dispositivos físicos mediante la conexión a internet, permitiendo la recolección y el intercambio automatizado de datos. Esta interconexión posibilita que los objetos se comuniquen entre sí y con sistemas computacionales, lo que genera un vasto rango de aplicaciones a través de diversos sectores.

El IoT se fundamenta en cuatro componentes esenciales: sensores, actuadores, redes de comunicación y plataformas para el procesamiento de datos. Los sensores identifican cambios en el entorno, como fluctuaciones en temperatura, humedad o presión, y remiten esta información para su posterior análisis. Por su parte, los actuadores ejecutan acciones en función de los datos que reciben, como abrir o cerrar válvulas, activar motores o ajustar la temperatura de sistemas específicos. Las

redes de comunicación, que pueden ser tanto inalámbricas (como Wi-Fi, Bluetooth o redes móviles) como cableadas, permiten la transferencia de información de manera eficiente y segura. Finalmente, las plataformas de procesamiento de datos interpretan la información recolectada y apoyan la toma de decisiones con algoritmos avanzados, optimizando así la eficiencia de los procesos involucrados.

Estos elementos, al trabajar en conjunto, facilitan la creación de sistemas inteligentes en diversos ámbitos. En el sector del agua, el IoT se ha convertido en una herramienta fundamental para mejorar la eficiencia y sostenibilidad en el abastecimiento y la distribución de agua potable. A través de sensores, es posible monitorear en tiempo real los niveles de agua en tanques de almacenamiento y detectar fugas potenciales en las tuberías. Este seguimiento continuo permite a los operadores identificar y abordar inconvenientes antes de que se conviertan en crisis, lo que ayuda a prevenir el desperdicio y a garantizar un suministro constante.

Adicionalmente, los actuadores vinculados a sistemas automatizados pueden ajustar el flujo de agua en función de la demanda y de la calidad del agua detectada, optimizando así el uso de este recurso valioso. En el ámbito agrícola, los sensores de humedad del suelo desempeñan un papel crucial al permitir la regulación precisa de los sistemas de riego, proporcionando así la cantidad exacta de agua necesaria para el crecimiento de las plantas. Esta técnica no solo disminuye el gasto de agua, sino que también contribuye a aumentar la productividad de los cultivos.

En lo que respecta a las plantas de tratamiento de agua, la implementación del IoT (Internet de las Cosas) facilita la supervisión y el control de los procesos necesarios para garantizar que el agua que se distribuye cumpla con los estándares de calidad establecidos. Esta tecnología también optimiza la gestión remota de sistemas ubicados en regiones con infraestructura deficiente, al posibilitar el monitoreo y control de bombas, válvulas y otros elementos sin requerir una intervención manual constante. Como resultado, la administración del recurso hídrico se vuelve más eficiente y sostenible, lo que a su vez ayuda a reducir costos operativos y fomenta prácticas de conservación efectivas.

Una de las principales ventajas del IoT en los sistemas de distribución de agua es su capacidad para detectar fallos y anomalías en tiempo real. Este avance permite identificar de inmediato problemas como fugas o rupturas en las tuberías, habilitando una respuesta ágil que minimiza las pérdidas y previene interrupciones en el suministro de agua. Tal capacidad de respuesta es fundamental para garantizar la integridad del sistema y asegurar el acceso constante y seguro al agua potable.

Adicionalmente, la recopilación continua de datos relacionados con el consumo y las condiciones del sistema permite realizar ajustes proactivos, lo que mejora la eficiencia y reduce los costos operativos. Gracias a esta información, se puede predecir la demanda de agua futura y modificar la producción y distribución en función de lo que se requiera, lo que implica un ahorro del agua y asegurar el acceso a este recurso natural, que es especialmente importante en acuíferos con escasez

de agua abastecida. Por otro lado, el IoT se revela como una de las herramientas más importantes en la batalla por la sostenibilidad y la gestión a largo plazo del agua. Ofreciendo herramientas de monitorización y control de sistemas mucho más avanzadas, permite adoptar prácticas responsables y reducir la huella ecológica de las organizaciones, y en consecuencia, esto no solo favorece al operador y al usuario, sino que también permite el ahorro de agua a nivel global, ayudando a hacer frente a la escasez de agua que se puede ver en muchas zonas del planeta.

2.1.3. Principios de Automatización y Control

Se puede anunciar a la automatización como la suma de tecnologías que ayudan a la ejecución de tareas o procesos, sin necesidad de la intervención directa de las personas, favoreciendo por eso la eficacia, la precisión y la homogeneidad. En relación con los sistemas automatizados, se dejan ver algunos componentes fundamentales: sensores, controladores, actuadores y sistemas de comunicación.

Los sensores son dispositivos que responden a modificaciones en el medio o en un proceso determinado, sobre la base de factores como la temperatura, la presión o la altura del agua, y que una vez han "sentido" estas variaciones las eliminan para el controlador, "el corazón" del sistema automatizado. El controlador procesará la información que recibe de los sensores y tomará decisiones en función de unos algoritmos que ya han sido programados, de modo que pueda regular los actuadores. Los actuadores son los elementos que saltan a las acciones empezando por abrir una válvula hasta poner en marcha un motor (Zapata et al., 2021). Los sistemas automatizados favorecen no sólo la mejor ejecución de los procesos, sino que, además, reducen las probabilidades de errores de la mano de personas, lo que les convierte en una solución especialmente revalorizada cuando funcionan en condiciones difíciles o peligrosas para las personas. Por ejemplo, en la gestión de sistemas de distribución de agua, estos sistemas automatizados pueden controlar y ajustar constantemente alturas de agua en los tanques de almacenamiento, regular el flujo en las tuberías y controlar las bombas de agua.

Esta respuesta automática y en tiempo real es crucial para asegurar un suministro ininterrumpido de agua potable y para optimizar el uso de este recurso vital (Zapata et al., 2021). La automatización, adicionalmente, permite la inclusión de diferentes funciones dentro de un único sistema, cosa que proporciona una mayor coordinación y coherencia en las operaciones.

A partir de controladores programables los sistemas de automatización pueden ser contruidos para cumplir o ejecutar un amplio rango de funciones específicas atendiendo así a las diferentes demandas para cada uso final. Esto es particularmente valioso en la gestión de recursos hídricos en

donde las necesidades pueden ser muy diferentes dependiendo de la demanda del sistema, la oferta de agua y las condiciones del medio (Wang et al., 2020).

Para la automatización de los procedimientos de regulación de funcionamiento de los dispositivos y de los procesos basados en un número concreto de parámetros serán precisos sistemas de control. Existen diferentes tipos de sistemas de control aplicados en la distribución de agua, cada uno con sus características y ventajas. Uno de los tipos de sistemas de control más comunes es el control proporcional-integral-derivativo (PID), el cual ajusta continuamente las variables durante el sistema de modo tal que la diferencia entre un valor medido y uno deseado se haya neutralizado. El control PID es ampliamente utilizado en aplicaciones donde se requiere una regulación exacta como en el control de la presión y el caudal de agua que tiene el lugar en sistemas de distribución (Wang et al., 2020), por lo que una respuesta no adecuada puede resultar en una presión demasiado baja o elevada. El tipo de sistema de control que también se suele utilizar en la administración de recursos hídricos es la lógica difusa, que busca manejar la imprecisión y la incertidumbre de los datos que se maneja para que no se requiera que los datos sean exactos y precisos.

A contrario de los sistemas de control tradicionales que requieren datos exactos y precisos, la lógica difusa puede procesar información incierta o aproximada, algo que es ideal en situaciones en las que los sensores pueden no ser totalmente precisos o que pueden cambiar rápidamente. Este tipo de control es necesario en sistemas complejos, donde hay muchas variables y condiciones que se ven implicadas en la toma de decisiones (Shalloo et al., 2020).

Además del PID y la lógica difusa, otro tipo de sistemas de control que también se utilizan son los sistemas de control predictivo, los cuales manejan un modelo matemático del sistema en cuestión a fin de prever su evolución y el funcionamiento de los controladores requeridos para ello. Los sistemas de gestión de redes de distribución de agua presentan ventajas significativas, especialmente en entornos donde la demanda y las condiciones pueden fluctuar drásticamente con el tiempo. Anticipando estos cambios, los sistemas de control predictivo optimizan la operación de bombas y válvulas, lo que conlleva a una mejora en la eficiencia global del sistema y una reducción en el consumo de energía (Shalloo et al., 2020).

La inclusión y la aportación del Internet de las Cosas (IoT) en la automatización han transformado la forma de gestionar lo que respecta a los sistemas de distribución de agua potable, permitiendo un control más eficiente. El hecho de poder combinar la capacidad de supervisión y de comunicación en tiempo real aportada por IoT con los sistemas de control automatizados hace posible optimizar la forma de operar las redes de agua adaptándolas mejor a las variaciones que puedan darse en las condiciones.

Por ejemplo, en el caso de los sensores IoT, estos pueden detectar variaciones en la calidad del agua y en los niveles en los tanques, informando así a los sistemas automatizados que, así, reaccionan inmediatamente adaptando el tratamiento y la distribución (Shalloo et al., 2020). De este modo, dicho acoplamiento promueve no solo una reacción más rápida y efectiva ante la actualidad, sino también con la posibilidad de hacer gestión de mantenimiento predictivo de la infraestructura. A través del análisis de los datos recolectados por los dispositivos IoT, los sistemas automatizados pueden realizar el reconocimiento de patrones que indican posibles fallas o de la necesidad de mantenimiento, permitiendo actuar preventivamente a los operadores antes de tener problemas relevantes.

Esto no solo aumenta la fiabilidad del sistema, sino que también reduce los costos asociados con reparaciones imprevistas y períodos de inactividad (Gholamzadehmir et al., 2020). La fusión de IoT y automatización permite incrementar el grado de flexibilidad y escalabilidad del manejo de los sistemas de agua. Gracias a que permite el seguimiento y la regulación en el tiempo real de un número elevado de variables, facilita que estos sistemas puedan ajustarse a cambios en el nivel de demanda o bien de calidad del agua o incluso cambios extremos en la situación ambiental. La flexibilidad que permiten es un aspecto esencial para poder procurar una adecuada entrega de agua potable, en especial en áreas donde la disponibilidad de agua es escasa o en aquellas donde el sistema de infraestructura es total o parcialmente poco fiable (Gholamzadehmir et al., 2020).

2.1.4. Procesamiento de Datos y Análisis en Tiempo Real

El Big Data se puede definir como el conjunto de técnicas para gestionar y analizar las grandes cantidades de información que, por su especial complejidad, no son susceptibles de tratamiento con técnicas tradicionales. La aplicación del Big Data en el ámbito de la gestión y operación del agua como recurso permite analizar ingentes cantidades de datos generados y extraídos a partir de sensores, sistemas de monitorización o dispositivos conectados a Internet de las Cosas (IoT). Son datos que contienen variables muy relevantes, como la calidad del agua, el nivel de almacenamiento, el caudal en tuberías y el dato de consumo. El procesamiento y el análisis en tiempo real de dicha información es un aspecto clave para permitir el aprovechamiento del agua, así como para contribuir a una mejor distribución y capitalización del agua disponible.

Pero además de identificar patrones y tendencias, el Big Data ofrece la posibilidad de detección de anomalías que pueden reflejar problemas de infraestructura, como son los errores de fugas o un fallo en el sistema, de forma que los operadores pueden intervenir de forma preventiva y así evitar que pequeños problemas se puedan convertir en crisis. Como contrapunto, el data analítico proporciona un caudal constante de información que incrementa la mejora de los procesos además de la evaluación de la efectividad de las buenas prácticas que se han ido instaurando con el tiempo. La

opción de poder realizar análisis en tiempo real en grandes cantidades de información también facilita a las organizaciones la oportunidad de ser mucho más flexibles y veloces en momentos de variaciones no previstas de los patrones de consumo de agua o situaciones extremas por fenómenos climatológicos. Poder contar con un suministro sostenible y fiable resulta clave, y cada decisión adoptada en la gestión del agua, sin dudas, incide directamente en su disponibilidad y calidad.

Uno de los avances más relevantes es el análisis predictivo, siendo este un área que se apoya en la IA (Inteligencia Artificial) y el machine learning (aprendizaje automático) hasta el punto de poder prever problemas antes de que se lleguen a producir. En el ámbito de la gestión del agua, se tiene la capacidad de prever las necesidades futuras y evitar fallos que puedan acarrear problemas en el suministro, de la mano del estudio de patrones de los datos históricos y en tiempo real, lo que permite a los algoritmos de machine learning poder alertar de tendencias como aquellas que pueden pasar desapercibidas a los operadores humanos.

Mediante la predicción de la demanda de agua en diferentes momentos del día y del año se puede ajustar el suministro para –ya se sabe– evitar una sobrecarga en el sistema. La monitorización de los datos de presión y flujo de agua nos permite anticipar las fugas hasta el punto de detectar ciertas tendencias que permiten actuar antes de provocar un daño mayor. Así pues, se puede considerar que el Big Data no solo permite una mejora en la gestión del agua, sino que contribuye a un uso más eficiente y sostenible del recurso. Con la implementación de sistemas avanzados de análisis y toma de decisiones, esta tecnología nos permite incluso certificar un suministro más seguro y fiable, en la línea de favorecer a la comunidad y al medio ambiente. Así, las mejoras en la eficiencia del sistema imponen a la vez menos costes de mantenimiento fallidos y pérdidas de agua (García, 2020). El análisis predictivo quizás también puede convertirse en importante en la optimización del tratamiento del agua.

Mediante la previsión de cambios en la calidad del agua que entra, los sistemas automatizados pueden alterar los tratamientos de esta, de manera que el agua que se distribuya cumpla con las características de calidad exigibles. Esta respuesta activa es fundamental para asegurar el suministro de agua segura y fiable, y sobre todo, en situaciones en las cuales la calidad del agua podría variar con rapidez a causa de circunstancias externas (García, 2020).

Para consumir la cantidad de información que son capaces de generar los dispositivos IoT en tiempo real, se cuentan con las diferentes herramientas y plataformas tecnológicas que permiten tratar grandes volúmenes de datos. Las plataformas permiten recoger, almacenar y analizar datos en un tiempo de segundos, permitiendo a operadores de planta disponer de la información básica para poder tomar decisiones rápidas y basadas en la información existente de los datos. Las plataformas más frecuentadas son las plataformas de análisis en la nube, como son Amazon Web Services (AWS),

Microsoft Azure y Google Cloud, que permiten un tratamiento de datos a gran escala (Cisneros-Caicedo et al., 2022). Las plataformas de análisis en la nube permiten a las organizaciones combinar información procedentes de las diferentes fuentes (sensores de IoT, bases de datos históricas, sistemas de información geográfica (SIG), etc.), en un solo lugar donde la información puede ser analizada en el mismo entorno.

También ofrecen herramientas avanzadas de análisis (motores de procesamiento en tiempo real, aprendizaje automático, etc.) que aprovechan para determinar patrones, predecir eventos y automatizar los resultados. Apache Kafka y Apache Spark son dos tecnologías que se utilizan extensamente en los entornos de procesamiento de datos en tiempo real, funcionando bien en tareas de análisis complejo y soportando grandes flujos de datos, y además ejecutando análisis con baja latencia (Cisneros-Caicedo et al., 2022). La oportunidad de manipular datos en tiempo real no solo hace posible mejorar la eficiencia operativa, sino que también contribuye en un mayor grado a obtener resiliencia en los sistemas de distribución de agua.

Al exhibir en tiempo real el estado del sistema, estas plataformas contribuyen a que el rol del operador sea el de facilitar la detección y resolución de problemas antes de que afecten a los usuarios finales, de una forma que se garantice un mejor y confiable suministro del recurso hídrico. Esta aplicación de tecnologías avanzadas a la gestión del agua para hacer frente a los desafíos contemporáneos en el suministro de recursos hídricos es necesaria en un mundo cada vez más interconectado y complejizado. (Cisneros-Caicedo et al., 2022).

2.1.5. Modelos de Sostenibilidad en la Gestión del Agua

La gestión sostenible del agua pretende garantizar las necesidades de la sociedad actual y, a la vez, la conservación del recurso agua para las generaciones venideras. Dada la importancia de agua como recurso escaso, su gestión debe ser responsable y eficiente de manera que se garantice su existencia en el futuro. Para lograrlo hay que optimizar su uso y proteger los ecosistemas acuáticos, así como reducir el impacto ambiental de su captación y distribución. La aplicación de los principios enunciados es clave para impedir que las actividades humanas impidan que el medio ambiente siga proveyendo agua potable y segura.

Las necesidades de una gestión sostenible del agua precisen el uso de tecnologías y prácticas que reduzcan la pérdida y optimicen su uso. Lo que conlleva a la mejora de los sistemas de riego en agricultura, a la modernización de las redes de distribución para evitar las pérdidas, o bien a la utilización de sistemas de tratamiento y reutilización del agua en los ámbitos urbano e industrial. La gestión plena del recurso agua en equilibrio con el entorno social y ambiental ha de ser integral,

teniendo en cuenta sus distintos usos. Las prácticas de recolección de agua pluvial son un buen ejemplo de las sinergias que pueden promoverse en la gestión del recurso agua.

En el proceso de sensibilización de la comunidad a la gestión del agua potable, la educación es fundamental. Fomentar la conciencia y establecer hábitos responsables para el consumo de agua es un factor clave y esencial, para tener una correcta gestión inclusiva capaz de adaptarse a las realidades de cada comunidad. La cooperación que puede existir entre gobiernos, instituciones, empresas y sociedades es vital para lograr un acceso justo y eficiente al agua potable. La forma como se gestionan los sistemas de distribución de agua responde directamente al medio ambiente. Un correcto manejo puede reducir la pérdida de agua a la vez que puede evitar la sobreexplotación del recurso hídrico asegurando así la sostenibilidad de este recurso tan deseado.

Actualmente, existen tecnologías para el control y monitoreo del consumo de agua, lo que mejora la eficiencia del uso del recurso vaso y disminuye el despilfarro. Una deficiente gestión puede suponer efectos negativos como el deterioro de los ecosistemas, la pérdida de biodiversidad y contaminaciones de suelos o cuerpos de agua. A fin de lograr evitar estos efectos y garantizar el uso sostenible del agua hay que introducir alternativas innovadoras en el proceso, lo que hace necesario la integración de energías renovables en los procesos de bombeo y tratamiento, así como la restauración de ecosistemas deteriorados. Hay que establecer también estrategias de gestión que sean conscientes de los límites ecológicos y que fortalezcan la resiliencia de los sistemas hídricos en un contexto de cambio climático y de incremento de las actividades humanas.

Políticas y regulaciones juegan un papel fundamental en la gestión del acceso y uso del agua, tanto a nivel local como internacional. Organismos como la UNICEF o la ONU y la OMS, han establecido normativas y directrices con la intención de legitimar el uso responsable y la conservación de los recursos acuáticos. Un ejemplo claro de ello son los ODS, que presentan objetivos para disponer de forma adecuada, la cantidad y la gestión de las aguas globalmente. Todos los Estados hacen los ajustes que estiman oportunos y que se adecuan a sus circunstancias para regular el acceso al agua, proteger sus fuentes de contaminación, etc.

Existen algunas políticas para promover el uso eficiente del agua mediante tarifas ajustadas al consumo de agua o con subsidios para tecnologías sostenibles. Sin embargo, las de las políticas no dependen únicamente de la implementación de estos marcos estratégicos, sino de la voluntad de todos los sujetos implicados en el proceso. Las políticas no deben sólo ser explícitas y determinantes, sino que además deben considerar la educación, la sensibilización como parte del hecho de hacer saber la importancia del agua y la necesidad de su uso responsable. Desde un enfoque colaborativo, es posible crear la infraestructura de un agua que asegure suficiente disponibilidad y calidad para el futuro y presente.

2.2. Descripción de la propuesta

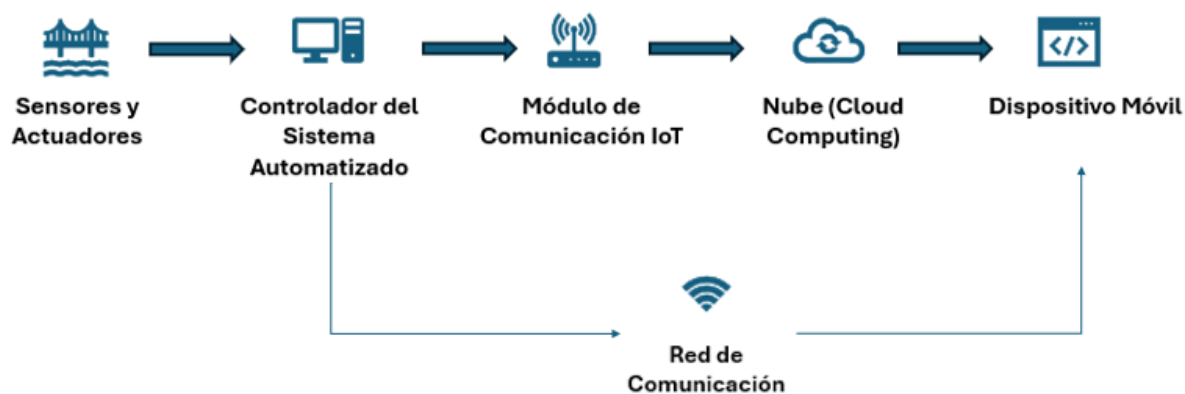
El sistema IoT para monitoreo y control de una planta de agua funciona como un ecosistema integrado donde los sensores se ocupan de recopilar datos y enviarlos al controlador (PLC), el cual procesará la información y, hará que los actuadores se ocupen de accionar el sistema. La información que se genera es enviada al módulo de comunicación IoT, el que pasa la información a la nube. Desde la nube, la información es procesada y pasa a estar disponible en la aplicación de monitoreo y control (Logo Web Editor). Todos los operadores pueden hacerse cargo de la distribución de agua con eficiencia, desde cualquier parte y desde cualquier momento.

a) Estructura general

El Diagrama de Bloques para la Implementación de un Sistema IoT para el monitoreo y control de una planta de suministro de agua potable se describe a todos los elementos que lo componen y su interacción, con el fin de establecer un sistema automatizado y eficaz. En la Figura 2 se muestra cómo trabaja cada bloque y las conexiones entre ellos.

Figura 2

Proceso de Flujo de la propuesta



1. Sensores y Actuadores

Los dispositivos sensores y actuadores son elementos claves en el control y la supervisión automatizada de una planta de agua. Los sensores adquieren en tiempo real información valiosa sobre el nivel, la presión y la calidad del agua, información básica para la supervisión del sistema. Los actuadores, por su parte, realizan acciones físicas en respuesta a órdenes para abrir o cerrar válvulas, encender o apagar bombas, y regular el flujo y la distribución del agua. La operación vinculada de los dispositivos sensores y actuadores contribuye a garantizar que la planta funcione dentro de los límites establecidos para maximizar su eficacia y su estabilidad.

2. Controlador del Sistema Automatizado

El controlador del sistema automatizado, representado a través del controlador lógico programable (PLC), es el "cerebro" que procesa la información de los sensores y toma decisiones programadas. Este dispositivo emite órdenes hacia los actuadores para controlar el funcionamiento de la planta de acuerdo con los parámetros establecidos, la interfaz de comunicación permite la transmisión de información entre el PLC y el módulo IoT, lo que facilita el monitoreo/control remoto. De esta forma el PLC permite que optimizar la eficiencia de la planta de agua y garantizar su funcionamiento.

3. Módulo de Comunicación IoT

El módulo de comunicación IoT, en este caso el ESP32, es indispensable para la integración de un sistema automatizado con una arquitectura de tipo IoT, permitiendo la transmisión de los datos desde el PLC hacia la nube. El funcionamiento del módulo sería el siguiente: los datos procedentes del PLC son recibidos y enviados hacia la nube de forma a permitir el control y monitoreo del sistema a distancia desde cualquier punto en donde se disponga de la Infraestructura de internet.

4. Nube (Cloud Computing)

El servidor en la nube alberga la información transmitida desde el módulo de comunicación IoT, proporciona el almacenamiento de esta, así como su proceso garantizando la correcta gestión de la información. De este modo, la nube es el medio por el que se hace posible proporcionar servicios de análisis y de supervisión de forma continua, así como para llevar a cabo el informe, la poda de alertas y decisiones basadas en información veraz y continuamente actualizada. En este sentido, la nube va acumulando la información del módulo IoT, gestionándola y analizándola, de forma que es factible contar de forma continua con el análisis de la planta de agua y su respectiva justificación en cuanto a la toma de decisiones en relación con ajustes de procesos.

5. Dispositivo Móvil (Logo Web Editor)

El dispositivo que implementa la aplicación Logo Web Editor permite a los operarios con acceso a dispositivos móviles controlar y monitorear la planta de agua en tiempo real desde cualquier lugar. Su interfaz está diseñada para ser sencilla y fácil de usar, proporcionando datos de tiempo real y controles para el sistema. El funcionamiento de esta interfaz es en constante conexión con la nube, de manera que los operarios pueden recibir alertas, monitorear el estado de la planta y controlar las operaciones a control remoto, optimizando la gestión y la respuesta ante incidentes potenciales.

6. Red de Comunicación

La red local mediante la tecnología Ethernet enlaza el módulo de comunicación IoT en el interior de la planta, permitiendo la puesta en conexión de los diferentes elementos integrados en el sistema para hacer posible la comunicación. De forma concomitante, la conexión a Internet, por su parte, posibilita la transmisión de datos y la recepción de información, desde la nube hacia el sistema y viceversa, garantizando así la posibilidad de acceso remoto y control a distancia de la planta. El funcionamiento adecuado de la misma permite tener garantizada la comunicación interna del sistema y la transmisión de datos correcta para facilitar el control y la supervisión desde cualquier lugar del mundo.

b) Explicación del aporte

El proyecto que a continuación se expone pretende desplegar un sistema de Internet de las Cosas (IoT) para el control automatizado del suministro de agua potable del barrio Buena Vista existente. Este sistema se ha desarrollado con la finalidad de lograr una interacción avanzada entre un panel de control automatizado y el dispositivo móvil. Aprovechando la automatización y tecnología del IoT junto con un controlador lógico programable (PLC), se establece el control y monitoreo remoto de operaciones de vital importancia, como el encendido y apagado de la bomba de agua; gracias a esto, el operador es capaz de tomar decisiones al instante que le lleven a realizar ajustes, lo cual optimiza la eficiencia de la operación y a su vez, limita el riesgo que existe de que haya paradas momentáneas en el suministro de agua potable.

La adecuada interacción con el sistema mediante el dispositivo móvil permite una gran flexibilidad, ya que se tendrá la posibilidad de supervisar y operar el sistema en lugares alejados. Para llevar a la práctica esta propuesta se requerirán distintos recursos tecnológicos y software que garanticen el funcionamiento eficiente del sistema, así como el aprendizaje y la práctica de los operadores. El PLC ha sido programado con el software Logo Comfort 8.3v, un programa totalmente adecuado para la automatización de procesos industriales. Esta herramienta permite la adecuada configuración de los diferentes parámetros del sistema, garantizando el funcionamiento sincronizado de los sensores con los actuadores. La interfaz de usuario del dispositivo móvil fue creada utilizando Amazon Web Services (AWS) y Logo Web Edition, dos software que permiten una buena plataforma para el diseño de interfaces gráficas.

Estos recursos son imprescindibles no solo para la puesta en práctica del aspecto técnico del sistema, sino que, además, favorecen que los operadores, quienes tienen que aprender a manejar el software para poder tratar en forma correcta el sistema, vayan aprendiendo en la práctica. En lo que respecta a las actividades de evaluación, se propone un enfoque práctico y centrado en el

rendimiento. El proceso de testear el funcionamiento del sistema (IoT) irá en fases, iniciando al testear la comunicación entre el PLC y el dispositivo móvil, simulando de esta manera el funcionamiento del sistema con las diferentes situaciones que se le proponga el mismo, por ejemplo, causar la activación de alarmas para niveles bajos de agua o provocar el desencadenamiento de acción en caso de fallos de la fase eléctrica.

Las pruebas de banca permiten certificar que la interconexión del sistema IoT con el tablero de control existente funciona. Los resultados de los tests se contrastarán con la permitividad del sistema para ir detectando las áreas de mejora garantizando el respeto de los requisitos de funcionamiento seguro y eficiente. Las actividades de construcción del conocimiento en el marco del proyecto de innovación propuesto se han diseñado para implicar a los operadores en el proceso de aprendizaje e inducción del sistema. Al principio se realizarán sesiones de formación teórica y práctica del software Logo Comfort 8.3v y Amazon Web Server (AWS) y Logo Web Edition, así como de los fundamentos que llevan a identificar el funcionamiento del sistema IoT y su interconexión con el panel de control automatizado.

Las figuras 2, 3 y 4 que se exhiben en este momento constituyen diferentes pantallas de una aplicación de interfaz gráfica de usuario (HMI) que ha sido implementada para controlar y supervisar el sistema de bombeo de agua, gracias a la utilización del software. Estas pantallas HMI han sido concebidas y adecuadas para garantizar un manejo más eficiente del mismo sistema de bombeo del barrio Buena Vista, logrando una visualización gráfica del estado del sistema y facilitando la actividad del operador.

La figura 3 muestra la pantalla de inicio del sistema, denominada "SISTEMA DE BOMBEO BUENA VISTA", que sirve como una suerte de introducción al sistema y donde se aportan algunos datos del proyecto, tales como la procedencia de la Universidad Israel o el autor del sistema, que ha resultado ser Wellington Espinoza. En este punto podemos observar el estado del sistema HMI, pudiendo claramente señalar la fase "FALLA DE FASE", señalada y resaltada en color rojo (que muestra un problema con la fase eléctrica del sistema) o por la frase "AUTO DESACTIVADO", que nos indica que no está siendo utilizado el modo automático; observando a la izquierda de la pantalla varios íconos de navegación que nos permiten acceder a los diferentes puntos del sistema: planta, bomba e incluso un cronómetro que muestra la fecha y hora actuales.

Figura 3

Interface de usuario - Inicio

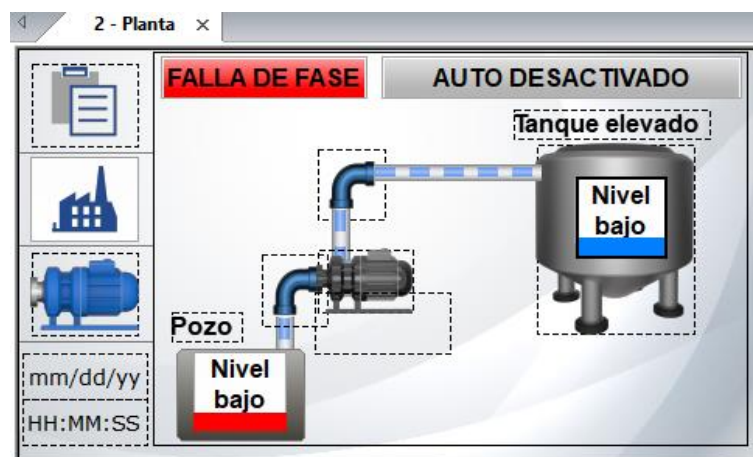


Nota. Tomado de (Espinoza, 2023).

La Figura 4 da cuenta de la pantalla de planta, la cual muestra el diagrama de la planta de bombeo de agua. En la visualización que se puede generar, podemos observar claramente el pozo, el tanque elevado y los indicadores de nivel de agua. Considerando la pantalla anterior y el estado del pozo y el tanque elevado, podemos ver que ambos elementos muestran un estado de "Nivel bajo" por el que ambos niveles están debajo de un umbral crítico. La pantalla también nos permite observar el diagrama de la bomba de agua conectada entre el pozo y el depósito, que se produce gracias a la bomba que conecta estos dos elementos, de bombeo de agua desde el pozo hasta el tanque. Al igual que la pantalla de inicio, también se visualizan los indicadores relacionados con los estados de "FALLA DE FASE" y "AUTO DESACTIVADO".

Figura 4

Interface de usuario - Planta

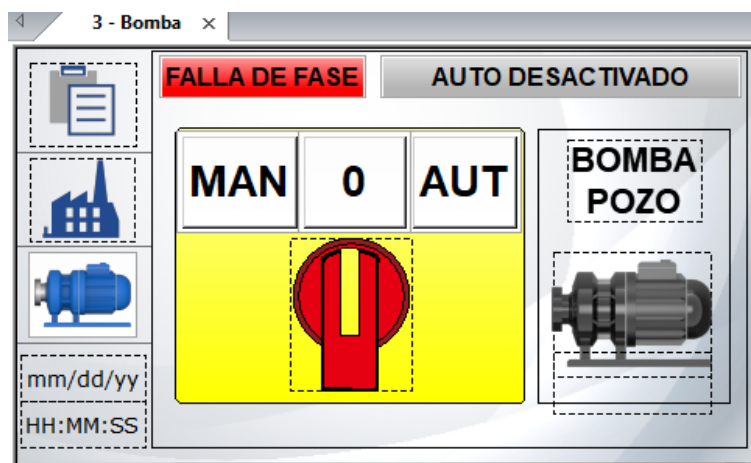


Nota. Tomado de (Espinoza, 2023).

La Figura 5 muestra la interfaz usada para controlar la bomba, centrándose en los mandos de la bomba de agua. En esta pantalla, los usuarios pueden cambiar entre los modos manual con "MAN" y automático con "AUT". En la pantalla hay un indicador de estado de la bomba que representa la situación actual de la bomba, además de haber un gráfico de la bomba que se observa en el lado derecho. Esta pantalla es esencial para permitir el control de la bomba de forma directa, especialmente en situaciones en las que se debe cambiar de modo de operación debido a problemas detectados por los sensores o en situaciones en las que hay que realizar un trabajo manual.

Figura 5

Interface de usuario - Control bomba



Nota. Tomado de (Espinoza, 2023).

En su conjunto, las pantallas de la HMI forman la interfaz que permite una experiencia de usuario intuitiva y eficaz, posibilitando el control y el seguimiento en tiempo real del sistema de bombeo de agua. Esto permite garantizar el abastecimiento de agua al barrio Buena Vista, al tiempo que proporciona a los operadores la capacidad de decidir sobre el mismo basándose en la información que la HMI presenta. La Figura 6 presenta un diagrama de programación elaborado en Logo Comfort 8.3v, el cual es un entorno de programación de controladores lógicos programables (PLC) de la serie LOGO! de Siemens.

Programación del PLC

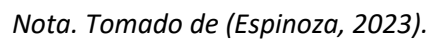


Figura 7

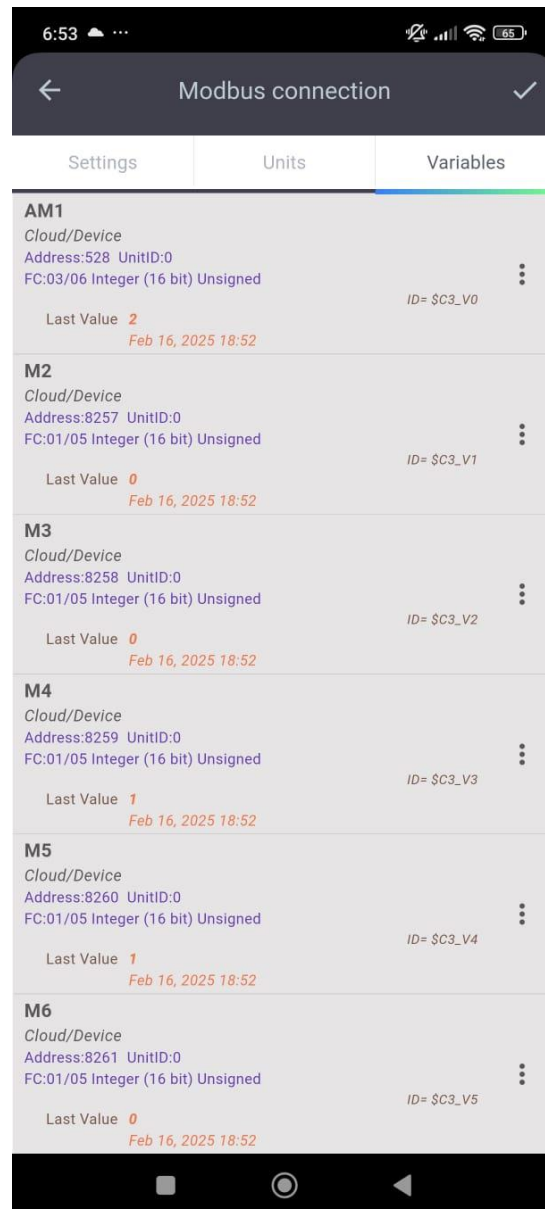
Pantalla principal del sistema en dispositivo móvil



Se presenta una interfaz gráfica de monitoreo y control para un sistema de agua potable en Buena Vista. En la pantalla se observan indicadores de nivel en el tanque elevado y la cisterna, presión de impulsión, y controles para operar el sistema en modo automático o manual. También se muestra el estado del sistema, permitiendo supervisar el funcionamiento de la bomba y posibles fallas térmicas.

Figura 8

Visualización de variables Modbus



En esta pantalla se visualizan las variables obtenidas a través del protocolo Modbus. Cada variable tiene una dirección específica dentro del dispositivo, una función de lectura/escritura y un último valor registrado. Los datos se actualizan en tiempo real, permitiendo el monitoreo de parámetros como estado de sensores o valores analógicos en un sistema automatizado.

Figura 9

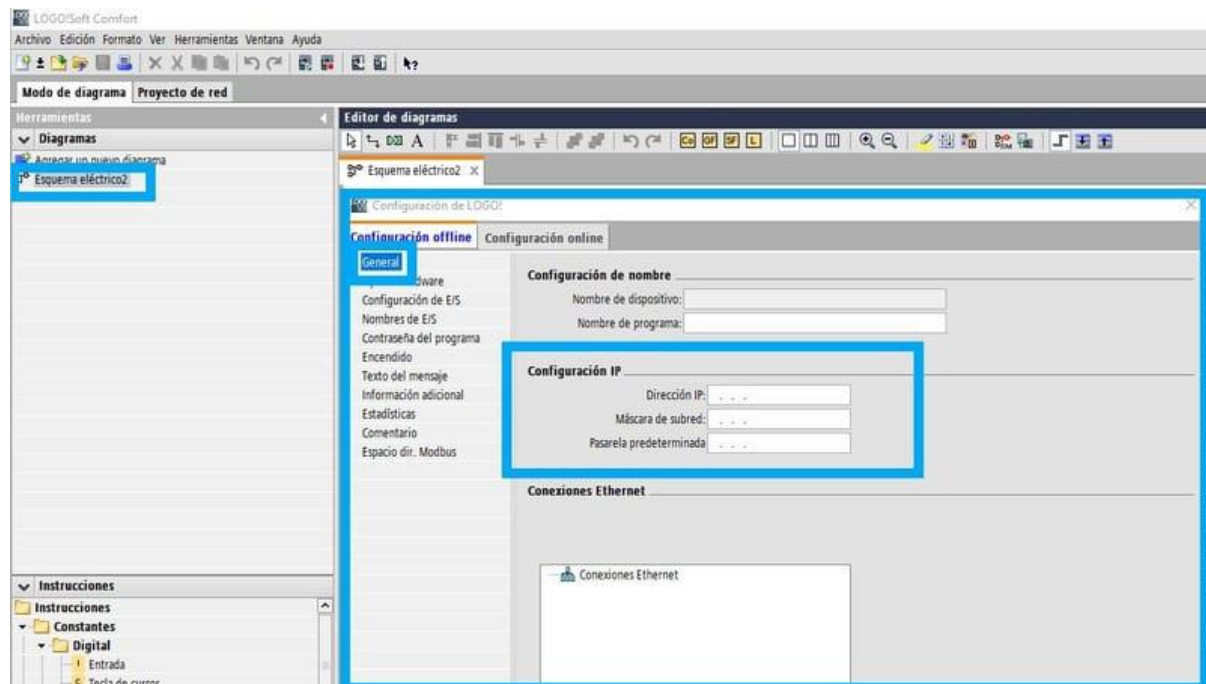
Configuración de conexión Modbus TCP/IP

The screenshot displays the 'Modbus connection' configuration interface. At the top, there's a status bar with the time 6:52 and various icons. Below the title bar, there are three tabs: 'Settings' (active), 'Units', and 'Variables'. The main content area features a 'MODBUS' logo with a tree diagram. Below the logo, there's a 'nickname' field with the value 'Modbus TCP/IP'. A section titled 'Default URL or IP' contains a 'URL' field with '200.107.7.34' and a 'Port' field with '504', accompanied by a 'Test' button. An 'Alternative URL or IP' section is also present. Further down, there are fields for 'Connection Timeout' (5 Seconds) and 'Socket Timeout' (300 Millis). The 'Protocol' is set to 'TCP/IP'. At the bottom, there are two unchecked checkboxes: 'Permanent Connection' and 'Debug'.

La imagen muestra la configuración de una conexión Modbus TCP/IP, donde se establece una dirección IP (200.107.7.34) y un puerto (504) para la comunicación con dispositivos remotos. Se definen los tiempos de espera para la conexión y el socket, y se selecciona el protocolo de comunicación TCP/IP. Además, se pueden habilitar opciones como conexión permanente y depuración.

Figura 10

Configuración de red en LOGO! Soft Comfort



La Figura 10 muestra donde se configuran los parámetros de red de un controlador lógico programable (PLC). En esta pantalla, se pueden establecer la dirección IP, la máscara de subred y la puerta de enlace predeterminada, permitiendo la comunicación del PLC con otros dispositivos dentro de la red industrial.

Figura 11

Mapa de direcciones Modbus

Espacio dir. Modbus				
Tipo direc.	Rango	Direc.Modbus asignada	Dirección	Ud.
I	1 - 24	Entr. discreta (DI) 1 - 24	R	bit
Q	1 - 20	Bob. 8193 - 8212	R/W	bit
M	1 - 64	Bob. 8257 - 8320	R/W	bit
V	0.0 - 850.7	Bob. 1 - 6808	R/W	bit
AI	1 - 8	Reg. entrada (IR) 1 - 8	R	word
VW	0 - 850	Registro paradas (HR) 1 - 425	R/W	word
AQ	1 - 8	Registro paradas (HR) 513 - 520	R/W	word
AM	1 - 64	Registro paradas (HR) 529 - 592	R/W	word

Se muestra una tabla con la asignación de direcciones Modbus para distintos tipos de datos dentro de un sistema de automatización. En la tabla se especifican rangos de direcciones, tipos de registros como bobinas (M) y registros de entrada (AI), además de indicar si son de solo lectura (R) o de

lectura/escritura (R/W). Esta información es fundamental para configurar la comunicación Modbus con un PLC o controlador industrial.

Implementación del Tablero de Control Automatizado

El sistema de control automatizado fue instalado y configurado satisfactoriamente. Este sistema de control es responsable de gestionar los sensores y actuadores. La programación del controlador lógico programable (PLC) fue ajustada para mejorar el funcionamiento en los lugares locales, garantizando así el suministro de agua potable de manera continua y confiable. Añadiéndole al sistema el control mediante un dispositivo móvil para que los operarios puedan trabajar desde cualquier lugar donde tengan conectividad.

Interfaz de Comunicación IoT: Mediante el uso de un módulo ESP32 se logró realizar la integración mediante la nube y la presentación del tablero de control fue de manera inalámbrica con el mismo. Haciendo uso del protocolo MQTT se llevó a cabo la transmisión de datos en tiempo real desde los sensores proporcionando así una comunicación fluida y robusta entre el sistema local y la nube.

Conexión con la Nube: La conexión a la nube fue llevada a cabo utilizando el navegador AWS (Amazon Web Services), el cual fue preferido, entre otros, gracias a su robustez y su capacidad en la gestión de grandes volúmenes de información en tiempo real. La programación del sistema fue realizada mediante el Logo Web Editor, el cual facilita un control ajustado y personalizado del flujo de la información entre el panel de control y la nube, lo que permite asegurar la supervisión del sistema desde cualquier ubicación.

Procesamiento de Datos en la Nube: Los datos generados por los sensores se procesan en la nube, donde quedan almacenados y organizados para su posterior visualización en la aplicación móvil desarrollada. Esta aplicación permite a los operadores observar el estado del sistema en tiempo real, además de las órdenes enviadas mediante el control remoto del funcionamiento de las bombas de agua y válvulas, mediante los cuales se asegura el correcto funcionamiento del sistema de aprovisionamiento de agua potable.

Validación del Sistema: Se realizaron diferentes pruebas que validan el funcionamiento adecuado del sistema IoT. Se validó la precisión en la transmisión de datos, la fiabilidad en la conexión del sistema entre el dispositivo móvil y la nube y la capacidad de respuesta ante la emisión remota de cada uno de los actuadores. Los resultados son muy buenos, ya que no existe apenas latencia respecto a un funcionamiento inmediato ante cada uno de los comandos de control, asegurando así un sistema que funcione de una manera eficaz y segura y que se pueda satisfacer las necesidades de aprovisionamiento de agua del barrio Buena Vista.

Descripción de la Programación

Módulos de Entrada y Sensores: El sistema realiza la incorporación de diversos bloques de entrada a través del cual se optimiza su funcionamiento en diferentes modos. En particular, el bloque I1 (AUT) permite activar el modo automático, de forma que el sistema puede funcionar de manera totalmente autónoma guiándose por información obtenida a partir de los sensores y actuadores. Por su parte, el modo/manual (bloque I2 - MAN) habilita al usuario para poder accionar directamente la bomba y otros elementos sin necesidad de los sensores, modo muy útil para operaciones de mantenimiento o emergencia. Un sensor importante en el sistema es el I3 (SN - Sensor de Nivel) que permite medir el nivel de agua del pozo, la misma juega un papel clave en la activación/desactivación automática de la bomba. Otro sensor del comportamiento, el sensor I4 (BOYA), permite de verificar un segundo nivel de agua o ciertas condiciones en el sistema.

Módulos Lógicos y Módulos de Comparación: Como los bloques lógicos permite tomar decisiones del sistema, los bloques de comparación, como los bloques lógicos, permiten realizar comparación de bloques ($\geq$, $=$), para verificar la calidad de ciertos parámetros, el nivel de agua o el voltaje. Las bombas, así como otros actuadores son activadas en función de las condiciones adecuadas. El procedimiento anterior permite garantizar el control del funcionamiento del sistema y también reducir el incremento de errores dando más confianza en la eficiencia del suministro de agua.

Bloques de Salida y Actuadores: Las salidas del PLC, representadas por los bloques Q1, Q2, Q3 y Q4, están conectadas a diferentes elementos actuadores de la instalación y/o maquinaria: bombas, válvulas y lámparas. Así por ejemplo Q1 (KM1) sirve para poner en marcha o parar una bomba en función de las señales adquiridas. Por otro lado, el sistema incorpora lámparas indicadoras L1, L2 que aportan una referencia visual explícita del estado del sistema, indicando si se encuentra trabajando en modo automático o manual, o bien, si se ha producido un fallo en el funcionamiento. Este tipo de señalización fomentar la supervisión del sistema como un medio para garantizar un mantenimiento más eficiente.

Bloques de Memoria y Temporizadores: Para el control de la instalación se han incorporado bloques de memoria y temporizadores, los bloques M1 y M2 almacenan estados temporales, el cual permite recordar el estado previo hasta que se emitan nuevas instrucciones. Esta cualidad es fundamental para evitar los saltos bruscos de una función a otra, siendo un resultado predecible. Si bien, en el presente diagrama no se contempla explícitamente los temporizadores y contadores, es necesario comentar que estos son una parte fundamental en programación de los PLC, ya que permiten programar las demoras en actuar los dispositivos e incluso contar hasta sucesos específicos en el tiempo, aumentando así la funcionalidad.

Indicadores de Diagnóstico: Hay indicadores de diagnóstico que permiten identificar y resolver errores de forma eficaz. Por ejemplo, los mensajes de error relacionados a la conexión Ethernet permiten detectar fallas en la transmisión de datos entre los elementos que forman parte del resto de los dispositivos. Esto asegura que el sistema esté funcionando correctamente. Los diagnósticos sirven a su vez para poder prever problemas y mejorar así la gestión automatizada del agua.

Funcionamiento General

El sistema se ha concebido para trabajar de forma manual y automática. Modo automático: el sistema está regulado de forma que las señales generadas por los sensores y/o entradas, en función de los niveles de agua, de voltaje, etc. ordenan, a modo de actuador, la acción de la bomba. Modo manual: El usuario accede al control de la bomba y del resto de actuadores sin que las señales de las entradas puedan afectar las órdenes del sistema, lo que resulta útil para mantenimiento de la instalación o en caso de que los sensores no funcionen.

c) Estrategias y/o técnicas

En la creación del sistema IoT destinado al monitoreo y control de la planta de suministro de agua potable en el barrio Buena Vista, se adoptaron diferentes estrategias metodológicas. La finalidad de las mencionadas estrategias era la de propiciar una conjunción del aprendizaje y de conseguir el éxito de la puesta en marcha del sistema. Se prioriza un enfoque de aprendizaje práctico y colaborativo, el cual aseguraba involucrar a los productores de forma activa en cada una de las fases del proyecto. Desde la planificación hasta la realización, se hicieron sesiones de formación y prácticas que permitieron a los implicados familiarizarse con los fundamentos del IoT, esto les dio la posibilidad de ver en un contexto real cómo se podían aplicar. Este planteamiento generaba un modelo de aprendizaje activo que transformó en conocimiento el aprendizaje técnico y consolidó la confianza de los operadores para hacer uso del sistema de forma autónoma.

Respecto de las herramientas tecnológicas, estas fueron elegidas con mucho esmero para procurar la puesta en marcha del sistema y el aprendizaje; el software Logo Comfort 8.3v fue el software elegido para la programación del controlador lógico programable (PLC). Su elección se debe a su facilidad de uso y a la eficiencia y rapidez con que se llevan a cabo los procesos automatizados que permite implementar. Este software es el pilar del sector industrial, facilitando el aprendizaje y uso por parte de los operadores. Por otro lado, se eligieron Amazon Web Services (AWS) y Web Edition para realizar el desarrollo de la interfaz de un dispositivo móvil, debido a la bondad de su uso y de la versatilidad que dispone. Esta herramienta permite crear interfaces gráficas que pueden ser accesibles, se requiere que existan este tipo de interfaces para hacer frente al monitoreo y control de forma remota,

quiere decir, que los botones del sistema permitían a los operadores gestionar el sistema de una forma fácil y rápida. La elección de estas tecnologías queda totalmente justificada por su capacidad para facilitar el objetivo del proyecto de aprendizaje de los operadores el cual asegura por tanto un uso del sistema de forma eficaz y segura.

2.3. Matriz de articulación de la propuesta

En la Tabla1 se sintetiza la articulación del producto desarrollado con los sustentos teóricos, metodológicos, estratégicos-técnicos y tecnológicos empleados a lo largo del proyecto. Esta matriz proporciona una visión clara de cómo cada componente del proyecto se alinea con las bases teóricas y los métodos aplicados, destacando los resultados obtenidos en cada parte y las herramientas utilizadas para su ejecución.

Tabla 1

Matriz de articulación

Ejes o partes principales del proyecto	Breve descripción de los resultados de cada parte	Sustento teórico que se aplicó en la construcción del proyecto	Metodologías, herramientas técnicas y tecnológicas que se emplearon
Determinación de la interfaz de comunicación IoT	Implementación exitosa de un módulo IoT que permitió la comunicación eficiente entre el PLC y el dispositivo móvil	Principios de comunicación en red y tecnología IoT para la integración de dispositivos	Uso del módulo ESP32 y el protocolo MQTT para la transmisión de datos
Elaboración de la comunicación con la nube	Configuración adecuada de servidores en la nube para el almacenamiento y monitoreo de datos	Teoría de computación en la nube y gestión de datos distribuidos	Implementación de servicios en la nube para análisis y monitoreo en tiempo real
Procesamiento de datos en la nube	Desarrollo de un sistema para supervisión y control remoto mediante una aplicación móvil	Fundamentos de análisis de datos y procesamiento en tiempo real	Programación en Logo Comfort 8.3v y Dopsoft v.4 para la interfaz de usuario
Validación de resultados mediante pruebas de funcionamiento	Confirmación de la estabilidad y fiabilidad del sistema bajo diversas condiciones operativas	Metodologías de prueba y validación en sistemas de control automatizado	Realización de simulaciones y pruebas de campo para asegurar la operatividad del sistema

Esta matriz de articulación refleja cómo cada componente del proyecto de titulación se desarrolló en consonancia con un marco teórico robusto y se implementó utilizando herramientas y metodologías adecuadas, asegurando así la coherencia y efectividad del sistema de monitoreo y control propuesto.

2.4. Análisis de resultados. Presentación y discusión

La información disponible a partir de la investigación desarrollada, obtenida mediante la utilización de métodos cualitativos y cuantitativos, respalda la efectividad del uso del sistema Internet de las Cosas (IoT), que nos permite gestionar el panel de control automatizado desde el teléfono móvil. Las pruebas que hemos realizado han demostrado que sí es posible hacer un seguimiento y un control efectivo de la bomba de agua mediante, lo que da lugar a la posibilidad de responder rápidamente ante los cambios del nivel del pozo y del tanque de agua elevado. La posibilidad de encender o apagar la bomba mediante el teléfono móvil da soporte a defender la idea de que la opción tecnológica propuesta es una alternativa que ayuda a mejorar la gestión del abastecimiento del agua potable.

Para el caso del problema que hemos detectado en el barrio Buena Vista, los resultados obtenidos indican que la aplicación de esta tecnología ofrece la posibilidad de solucionar gran parte de las carencias que anteriormente hemos identificado en el control del agua. Este proyecto tiene un importante trasfondo teórico que justifica el uso del IoT como herramienta clave para la automatización del control de sistemas relevantes. La posibilidad de gestionar el panel de control de forma remota apoya la idea de que la realización de automatismos a través del IoT permitiría mejorar la capacidad de respuesta, aumentando con esto la regularización en el agua. La realización de centros de control más allá de la mejora de la operatividad del sistema. Y esta investigación sostiene el potencial del IoT como una herramienta clave para los automatismos en remoto y la gestión, la optimización de los recursos hídricos.

Por otra parte, aunque este tipo de solución es efectiva, hay que destacar algunos inconvenientes relacionados con la misma; por ejemplo, la existencia de una conexión a Internet fuerte, algo que puede acabar por limitar los rendimientos en zonas donde hay una infraestructura de red débil. Ante esto, se podrían profundizar opciones de conectividad más evolutivas y, por otro, seguir investigando nuevas tecnologías que sean capaces de incrementar la precisión y la fiabilidad de la solución. A la vista de ello, las futuras investigaciones, en este sentido, podrían extender la solución todavía más a otro tipo de infraestructuras con la finalidad de comprobar la utilidad de la solución en otras áreas de trabajo e investigar mejoras que permitan adaptar el sistema a otras condiciones y necesidades.

CONCLUSIONES

Con relación al primer objetivo específico, determinar la interfaz de comunicación IoT, adecuada para interactuar con el tablero de control automatizado, resulta que la implementación del módulo de comunicación IoT, como el plc logo v3 con Amazon Web Server (AWS) y Web Edition, funciona; dicho módulo consiguió establecer una conexión estable y segura entre el PLC y dispositivo móvil, obviando de este modo poder supervisar y controlar el sistema de bombeo de agua, utilizando el protocolo mqtt para la transmisión de datos, así, como mostró la comunicación con el módulo IoT, en el sistema de bombeo de agua.

En relación con el objetivo específico dos, elaborar la comunicación con nube para la supervisión en conjunto con sensores, supervisores y actuadores del sistema de agua potable, resulta que la comunicación a través del sistema IoT con servicios del almacenamiento y procesamiento de datos en nube, funciona; la utilización de servidores en la nube consiguió almacenar la cantidad de datos procedentes de los sensores para su posterior tratamiento, permitiendo el análisis y monitorización constante de los mismos.

Esto permitió mejorar la supervisión en tiempo real, aumentando de este modo la capacidad del sistema para llegar a conocer situaciones críticas, permitiendo una gestión del suministro de agua ininterrumpido y seguro. En cuanto al objetivo específico tercero, procesar datos en la nube mediante el sistema IoT desde un dispositivo móvil para la supervisión y control en remoto del tablero de control automatizado, el uso de herramientas de análisis en la nube optimizó el procesamiento de datos de la toma de decisiones. La interfaz de usuario desarrollada mediante Amazon Web Server (AWS), Web Edition para dispositivos móviles ha facilitado a los operadores un sistema fácil de utilizar y manejar para el control del sistema y el monitoreo de los parámetros, contribuyendo de esta forma a un incremento de la eficiencia operativa y a una reducción en el tiempo de reacción a posibles errores o requerimientos de ajuste.

Por último, en lo que concierne al cuarto objetivo específico de trabajo -validar los resultados- utilizando las pruebas de funcionamiento del sistema IoT en el dispositivo móvil y en el tablero de control automatizado se concluye que las pruebas realizadas han validado la solidez y la fiabilidad del sistema. Simulaciones y pruebas de campo han venido a corroborar que el sistema del tableros puede funcionar tanto en modo automático como manual, el sistema respondiendo a las señales provenientes de los sensores y manteniendo su funcionamiento estable bajo condiciones variables. Tales resultados validan la viabilidad del proyecto y la posibilidad de mejorar la gestión del suministro del agua potable para el barrio Buena Vista. A su vez, el desarrollo y la implementación del sistema IoT para garantizar el control del suministro del agua para el barrio Buena Vista han sido satisfactoriamente cumplidos cumpliendo con el objetivo general para el proyecto.

El sistema diseñado permite la supervisión y la gestión de los recursos hídricos asegurando un funcionamiento continuo y fiable, la integración de tecnologías IoT y de tableros de control automatizados han permitido una mejora en la respuesta ante la presencia de eventos adversos optimizando la operación automática y manual del sistema. Este proyecto ha demostrado su viabilidad técnica, suministrando una solución innovadora y mejorando de esta forma el suministro del agua potable y garantizando un servicio constante al barrio Buena Vista.

RECOMENDACIONES

Considerando los resultados obtenidos, se propone realizar una monitorización y evaluación periódica del sistema IoT, que tiene como propósito la mejora del sistema y el uso correcto y eficiente del mismo a largo plazo. Además de lo anterior, resulta de suma importancia establecer un proceso de mantenimiento periódico del hardware y del software, de manera que cada uno de los componentes del sistema opere dentro de los parámetros establecidos, con las consecuencias que ello conlleva para asegurar su correcto funcionamiento.

También resulta recomendable una capacitación continua del personal responsable del sistema en lo que a operación y supervisión se refiere, proporcionándoles conocimientos actualizados en tecnologías IoT y habilidades en cuanto resolución de problemas. De este modo se ayuda a garantizar una gestión más eficiente del sistema y permite ofrecer respuestas rápidas en caso de cualquier eventualidad.

Por otro lado, resulta pertinente la incorporación de nuevas tecnologías o nuevos sensores que mejoren las funcionalidades ya implementadas. En concreto incorporar sensores de calidad de agua, o bien sensores de presión, de modo de mejorar los parámetros a monitorizar y por tanto poder ofrecer un control más acurado sobre el suministro de agua potable a la comunidad.

Por último, resultaría recomendable realizar estudios periódicos sobre el impacto de este sistema en la eficiencia, pero sobre todo en la satisfacción de la comunidad del barrio Buena Vista, de modo de ajustar estrategias y adoptar medidas que garanticen una mejora del sistema y por extensión de la satisfacción de sus usuarios.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguilar, A. C. A., & Díaz, F. F. O.-. (2020). APRENDIZAJE AUTOMÁTICO PARA LA PREDICCIÓN DE CALIDAD DE AGUA POTABLE. *Ingeniare*, 28, Article 28. <https://doi.org/10.18041/1909-2458/ingeniare.28.6215>
- Alarcón, J. A. (2020). La ciudad compacta y la ciudad dispersa: Un enfoque desde las perspectivas de convivencia y sostenibilidad. *Revista San Gregorio*, 39, 1-14. <https://doi.org/10.36097/rsan.v1i39.871>
- Anaya, Y. D. S., Rodríguez, D. G. G., Prince, I. G., & Sakanassi, J. A. O. (2022). El impacto del internet de todas las cosas (IoT) en la vida cotidiana. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 6(2), Article 2. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v6i2.1959
- Angeles, L. E. (2024). Implementación de un sistema de telemetría, automatización y control para reservorios de agua potable utilizando tecnología IOT en la empresa prestadora de servicios de agua potable y alcantarillado Sedapar S. A. *Universidad Continental*. <https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/14728>
- Bolaños, F. V., & Buitrago, O. (2022, enero 1). LA GESTIÓN DEL AGUA POTABLE COMO HECHO METROPOLITANO: EL CORREDOR METROPOLITANO CALI-YUMBO (COLOMBIA). | *Finisterra: Revista Portuguesa de Geografia* | EBSCOhost. <https://doi.org/10.18055/Finis24705>
- Cansi, F., & Cruz, P. M. (2020). "Agua nueva": Notas sobre sostenibilidad de la economía circular. <https://doi.org/10.14198/Sostenibilidad2020.2.04>
- Catacora, C. C. A., & Valencia, E. L. (2021). Implementación de un sistema de internet de las cosas para optimizar la gestión del agua en la agricultura de la Región Tacna. *INGENIERÍA INVESTIGA*, 3(1), Article 1. <https://doi.org/10.47796/ing.v3i1.478>
- Cisneros-Caicedo, A. J., Guevara-García, A. F., Urdánigo-Cedeño, J. J., & Garcés-Bravo, J. E. (2022). Técnicas e Instrumentos para la Recolección de Datos que Apoyan a la Investigación Científica en Tiempo de Pandemia. *Dominio de las Ciencias*, 8(1), Article 1. <https://doi.org/10.23857/dc.v8i1.2546>
- Conejeros, A., Hueichaqueo, C., Martinez-Jimenez, B. L., & Placeres, A. (2021). Monitoreo de calidad del agua en sistema de agua potable rural. *Ingeniería Electrónica, Automática y Comunicaciones*, 42(3), 60-70.
- Espinoza, W. (2023). *Desarrollo de un tablero de control automático para un sistema de suministro de agua potable del barrio buena vista de la parroquia nueva loja, cantón lago agrio*.
- Falla, M., & Diaz, A. (2023). *La Inobservancia del Estado Colombiano Frente al Suministro de Agua Potable en el Sector Rural del Municipio de Socha Boyacá Estudio del Caso*. <http://repository.unilibre.edu.co/handle/10901/25981>

- García, A. M. (2020). Aplicación de técnicas de inteligencia de negocios y análisis de datos en el entorno empresarial cubano: Retos y perspectivas. *Revista Cubana de Ciencias Informáticas*, 14(4), 191-209.
- Gholamzadehmir, M., Del Pero, C., Buffa, S., Fedrizzi, R., & Aste, N. (2020). Adaptive-predictive control strategy for HVAC systems in smart buildings – A review. *Sustainable Cities and Society*, 63, 102480. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102480>
- González, L., Sofia, A. A. O., Laguía, D., Gesto, E., & Hallar, K. O. (2020). Internet del Futuro – Estudio de tecnologías IoT. *Informe Científico Técnico UNPA*, 12(3), 105-137.
- González, M. A. (2023). *Sistema de monitorización IoT para la producción de agua con cosechadores atmosféricos*. <https://repositoriotec.tec.ac.cr/handle/2238/15130>
- Gonzalez, S. A. (2023). *Arquitectura de fusión de datos para monitoreo de variables basado en IOT- Caso de estudio agua potable*. <https://hdl.handle.net/20.500.12494/54155>
- Hamid, S. A., Rahim, A. M. A., Fadhlullah, S. Y., Abdullah, S., Muhammad, Z., & Leh, N. A. M. (2020). IoT based Water Quality Monitoring System and Evaluation. *2020 10th IEEE International Conference on Control System, Computing and Engineering (ICCSCE)*, 102-106. <https://doi.org/10.1109/ICCSCE50387.2020.9204931>
- Kumar, J., & Samalla, K. (2019). *Design and Development of Water Quality Monitoring System in IOT*.
- Kuri, G. H., & Ribeiro, W. C. (2020). Gestión del agua y relaciones de poder en América Latina. *Agua y Territorio / Water and Landscape*, 15, Article 15. <https://doi.org/10.17561/at.15.5492>
- Lemus-Delgado, D., & Pérez, R. (2020). Ciencia de datos y estudios globales: Aportaciones y desafíos metodológicos. *Colombia Internacional*, 102, Article 102.
- Martínez, A. M. (2021). *Modelo de sostenibilidad con enfoque de gestión de proyectos para un desarrollo endógeno* [Doctoral Thesis, Doctorado Gerencia de Proyectos]. <https://repository.universidadean.edu.co/handle/10882/10794>
- Morales-Tejeiro, L. V., Trujillo-González, J. M., & Torres-Mora, M. A. (2021). Identificación de los sistemas de suministro y disposición del agua en una comunidad rural: Gestión comunitaria del agua. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 13(1), Article 1. <https://doi.org/10.22490/21456453.4271>
- Nicora, B., Barranquero, R. S., Etcheverría, S. G., Dipardo, B., Tabera, A., Quiroga, M., Landa, R., Verellén, M. C., Galarreta, V. A. R. de, Nicora, B., Barranquero, R. S., Etcheverría, S. G., Dipardo, B., Tabera, A., Quiroga, M., Landa, R., Verellén, M. C., & Galarreta, V. A. R. de. (2021). Evaluación integral de la gestión del agua subterránea en escuelas rurales en Tandil, Argentina. *Revista de Ciencias Ambientales*, 55(1), 294-316. <https://doi.org/10.15359/rca.55-1.14>

- Ortega, J. F. (2021). Gestión del agua potable en Piedras Negras, Coahuila. *REVISTA DOXA DIGITAL*, 11(21), Article 21. <https://doi.org/10.52191/rdojs.2021.219>
- Pasika, S., & Gandla, S. T. (2020). Smart water quality monitoring system with cost-effective using IoT. *Heliyon*, 6(7), e04096. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04096>
- Rai, S., Poduval, D. S., Anand, U., Verma, V., & Banerjee, S. (2024). An Effective Smart Water Quality Monitoring and Management System Using IoT and Machine Learning. *SN Computer Science*, 5(7), 846. <https://doi.org/10.1007/s42979-024-03208-2>
- Salazar, M. A. O. (2023). *Gestión del agua potable y calidad de vida en Cuernavaca Morelos: La relación subyacente*. <http://riaa.uaem.mx/xmlui/handle/20.500.12055/3884>
- Salbidegoitia, I. (2023). ¿Cómo impulsa el IoT el ahorro de agua? *Interempresas. Industria química*, 105(3), 60-61.
- Sampieri, R. H., & Torres, C. P. M. (2023). *Metodología de la investigación: Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. McGraw-Hill Education.
- Shalloo, R. J., Dann, S. J. D., Gruse, J.-N., Underwood, C. I. D., Antoine, A. F., Arran, C., Backhouse, M., Baird, C. D., Balcazar, M. D., Bourgeois, N., Cardarelli, J. A., Hatfield, P., Kang, J., Krushelnick, K., Mangles, S. P. D., Murphy, C. D., Lu, N., Osterhoff, J., Pöder, K., ... Streeter, M. J. V. (2020). Automation and control of laser wakefield accelerators using Bayesian optimization. *Nature Communications*, 11(1), 6355. <https://doi.org/10.1038/s41467-020-20245-6>
- Soares, D. (2021). *Ecología política y gestión del agua en territorios rurales*. <https://doi.org/10.3167/reco.2021.110306>
- Tong, X., Liu, Q., Pi, S., & Xiao, Y. (2020). Real-time machining data application and service based on IMT digital twin. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 31(5), 1113-1132. <https://doi.org/10.1007/s10845-019-01500-0>
- Valdivia, R., Delgadillo, M. A., Sangerman-Jarquín, D. M., Hernández, J., Sandoval, F., Garay Jácome, Á. S., Valdivia Alcalá, R., Delgadillo Vázquez, M. A., Sangerman-Jarquín, D. M., Hernández Ortiz, J., Sandoval Romero, F., & Garay Jácome, Á. S. (2022). Valoración económica de la calidad del agua potable en León, Guanajuato. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 13(3), 527-538. <https://doi.org/10.29312/remexca.v13i3.3168>
- Vasquez, J. A. G., Arroyo, M. E. C., Maguiña, M. M. H., Asto, M. K. L., Quincho, L. M. S., & Cabrera, A. F. V. (2023). TECNOLOGÍAS DEL INTERNET DE LAS COSAS APLICADAS EN LA CADENA DE SUMINISTRO. UNA REVISIÓN SISTEMÁTICA. *Gestión de Operaciones Industriales*, 2(01), Article 01.
- Wang, W., Na, X., Cao, D., Gong, J., Xi, J., Xing, Y., & Wang, F.-Y. (2020). Decision-making in driver-automation shared control: A review and perspectives. *IEEE/CAA Journal of Automatica Sinica*,

7(5), 1289-1307. IEEE/CAA Journal of Automatica Sinica.
<https://doi.org/10.1109/JAS.2020.1003294>

Zamora, M. D. M., & Campos, M. A. Z. (2022). Sostenibilidad y ecoeficiencia: Un modelo regional empresarial con una visión global (Colombia). *HUMAN REVIEW. International Humanities Review / Revista Internacional de Humanidades*, 14(4), Article 4.
<https://doi.org/10.37467/revhuman.v11.4141>

Zapata, M., Topón-Visarrea, L., & Tipán, É. (2021). *Fundamentos de Automatización y Redes Industriales*. Universidad Tecnológica Indoamérica.
<https://repositorio.uti.edu.ec/handle/123456789/2226>