



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

SEDE QUITO

CARRERA DE ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN

**RED DE SENSORES CON CONEXIÓN INDUSTRIAL Y ALMACENAMIENTO EN LA
NUBE**

Trabajo de titulación previo a la obtención del
Título de Ingeniero en Electrónica y Automatización

AUTORES: Alex David Ramirez Yumbay
Ioan Eduardo Romero Iñiguez

TUTOR: William Paul Oñate Amaguaña

Quito-Ecuador

2025

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, Ioan Eduardo Romero Iñiguez con documento de identificación N° 1726977174 y Alex David Ramírez Yumbay, con documento de identificación N° 0705886919 manifestamos que:

Somos los autores y responsables del presente trabajo; y. autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Quito, 6 de marzo de 2025

Atentamente,



Ioan Eduardo Romero Iñiguez

1726977174



Alex David Ramirez Yumbay

0705886919

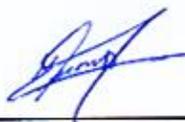
CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

Nosotros, Ioan Eduardo Romero Iñiguez con documento de identificación N° 1726977174 y Alex David Ramirez Yumbay, con documento de identificación N° 0705886919 expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del proyecto técnico: "Red de sensores con conexión industrial y almacenamiento en la nube", el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero en Electrónica y Automatización en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 6 de marzo de 2025

Atentamente,



Ioan Eduardo Romero Iñiguez

1726977174



Alex David Ramirez Yumbay

0705886919

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, William Paul Oñate Amaguaña, con documento de identificación N° 1715580500, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: RED DE SENSORES CON CONEXIÓN INDUSTRIAL Y ALMACENAMIENTO EN LA NUBE, realizado por Ioan Eduardo Romero Iñiguez con documento de identificación N° 1726977174 y Alex David Ramirez Yumbay, con documento de identificación N° 0705886919, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción de proyecto técnico, que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 6 de marzo de 2025

Atentamente,



Ing. William Paul Oñate Amaguaña, Msc.

1715580500

AGRADECIMIENTO

Toda conexión necesita un buen soporte, y esta tesis no habría sido posible sin las personas que fueron mi mejor red: quienes me guiaron, apoyaron y motivaron en cada paso del camino. Mis amigos y compañeros a lo largo de mi vida universitaria que me ayudaron a darme cuenta que esta etapa no es un calvario, también es disfrutar y divertirse en el proceso. A todos ustedes, mi más profundo agradecimiento. Esta tesis es el resultado de su apoyo y fe constante en mí. Esta tesis es tan suya como mía, y cada palabra escrita lleva consigo un pedacito de su corazón.

Ioan Romero

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a todas las personas que han sido parte de este proceso. Gracias a la dedicación, el esfuerzo y el apoyo de quienes me rodean, hoy puedo ver culminado este logro. A mi familia, por su incondicional apoyo en cada etapa de mi vida, y a todos aquellos que, de alguna manera, han contribuido a mi crecimiento y formación profesional. A mis profesores y compañeros, por su colaboración, enseñanzas y por brindarme las herramientas necesarias para llegar hasta aquí. Sin su apoyo y esfuerzo conjunto, este logro no habría sido posible.

Alex Ramirez

DEDICATORIA

A quienes caminaron conmigo por este laberinto, dedico estas páginas a mis padres, Lenin y Jadira, quienes me dieron la oportunidad de estudiar esta prestigiosa carrera, por permitirme ser un profesional y por todo su apoyo a lo largo de estos años de esfuerzo académico, a mi hermana Misshel, por apoyarme y nunca dejarme solo, a mis abuelos paternos y maternos, por nunca olvidarse de mi en los momentos difíciles, mis mascotas (hijos), Doky, Dumbo 1^o, Dumbo 2^o, Pancha, Simon, Manucho, Gatusso y Tukson, mis fieles acompañantes, los motores de un joven con sueños. Esta tesis está dedicada a todos ustedes, quienes han sido los pilares fundamentales de mi vida y por quienes dedico este esfuerzo logrado.

Ioan Romero

Este trabajo de titulación lo dedico con mucho cariño a quienes han sido mi mayor apoyo y fuente de inspiración. A mis abuelos, que me criaron con amor y me guiaron a lo largo de mi vida, brindándome todo lo necesario para llegar hasta aquí. A mi madre, por su apoyo en los momentos clave de mi vida, por preocuparse por mi bienestar y por el amor que me ha brindado. A mi padre, por el respaldo que me ofreció en este camino, y por estar presente cuando fue necesario. A mi tío, por ser una guía en mi vida, por sus consejos siempre orientados a hacer las cosas bien, por impulsarme a destacar en todo lo que hago y por enseñarme a buscar siempre lo correcto.

Este logro es el reflejo de sus enseñanzas, sacrificios y el amor con el que me han guiado. La herencia más valiosa que me han dejado es el poder del estudio, y gracias a ello, hoy estoy cumpliendo una de mis metas. Sus vidas, llenas de esfuerzo y dedicación, son la luz que me impulsa a seguir adelante, a crecer cada día y a convertirme en una mejor versión de mí mismo, buscando siempre el bien.

Alex Ramirez

INDICE DE CONTENIDOS

RESUMEN	VII
ABSTRACT	XIII
INTRODUCCIÓN	1
CAPITULO 1.....	3
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	3
1.1. Identificación.....	3
1.2. Contextualización	3
1.3. Justificación	3
1.4. Delimitación.....	4
1.5. Alcance.....	4
1.6. Formulación	5
1.6.1. Pregunta de Investigación	5
1.6.2. Sub-preguntas de Investigación.....	5
1.7. Objetivos	6
1.7.1. Objetivo General.....	6
1.7.2. Objetivos Específicos.....	6
CAPÍTULO II.....	7
2. MARCO TEÓRICO	7
2.1. Introducción	7
2.1.1. Agricultura de precisión para el monitoreo, visualización y almacenamiento de la data	7
2.1.2. Antecedente 1	8
2.1.3. Antecedente 2	9

2.1.4. Antecedente 3	9
2.1.5. Antecedente 4	10
2.2. Fundamentación Teórica	11
2.2.1. Suelo, Producción y Calidad	11
2.2.2. Cuidados del suelo	11
2.2.3. Propiedades fisicoquímicas del suelo	11
2.2.4. Sensor para suelo PH-V5	13
2.2.5. Wecon PLC LX3V-0806MR	14
2.2.6. Automata programable en la agricultura	14
2.2.7. Topología.....	15
2.2.8. Comunicación Sensor - PLC	15
2.2.9. Protocolo RS485.....	15
2.2.10. V-Box	15
2.2.11. V-NET Client	15
2.2.12. Adaptador RS-485 a USB	15
Capítulo III	19
3. Marco Metodológico	19
3.1. Introducción	19
3.2. Configuración de sensores (PH-V5).....	19
3.2.1. Configuración de sensores (PH-V5).....	19
3.3. Autómata programable (PLC LXV WECON) para la adquisición y envío de datos a la nube	21
3.3.1. Recepción de datos del sensor.....	22
3.3.2. Procesamiento en PLC	22
3.3.3. Envío de datos a V-BOX.....	26

3.3.4. Publicación de datos en V-NET.....	27
3.3.5. Datos desde V-NET hacia Firebase	29
3.3.6. Datos desde V-NET hacia Firebase	30
3.3.7. Datos desde V-NET hacia Firebase	32
Capítulo 4	34
4. Resultados.....	34
4.1. Análisis de resultados	34
Capítulo 5	38
5. Conclusiones	38
Capítulo 6	40
6. Bibliografía	40
Capítulo 7	42
7. Anexos	42

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 Sensor para suelo PH-V5.....	13
Figura 2 Wecon PLC LX3V-0806MR.....	14
Figura 3 Topología tipo estrella	15
Figura 4 V-BOX.....	17
Figura 5 V-NET Client	18
Figura 6 RS485 a USB.....	18
Figura 7a Software Halisense Modbus soil sensor tool	20
Figura 7b Selección de parámetro a sensar	20
Diagrama de bloques 1 Adquisición y envío de datos a la nube	21
Figura 8 Conexión de sensores RS485 y alimentación.....	22
Figura 9 Emparejamiento en WECON PLC Editor.....	23
Figura 10 Emparejamiento en WECON PLC Editor	23
Figura 11 Parámetros para configuración D8120	24
Figura 12 Configuración D8126	25
Figura 13 Comunicación RS485 Manual sensores	26
Figura 14 Entrada RS422 V-BOX	27
Figura 15 Comunicación V-box y la plataforma V-net	288
Figura 16 Configuración de etiquetas y registros en V-Net para la visualización de datos.....	28
Figura 17 Visualización de datos V-net en tiempo real	29
Figura 18 Configuración Lua Script	29
Figura 19 Comando Mosquitto Sub en CMD.....	30
Figura 20 Realtime Database server	31
Figura 21 JSON para comunicación con python	31
Figura 22 Recepción y envío de datos exitoso desde V-net a Firebase.....	32
Figura 23 Recepción de datos en Firebase	32
Figura 24 Datos en Google Colab.....	33
Figura 25a Consumo de CPU	37
Figura 25b Memoria RAM.....	37

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Definición de los pines COM1 V-BOX.....	27
Tabla 2 Pruebas de tiempo de envío de datos Sensores a V-NET Client	34
Tabla 3 Pruebas de tiempo de envío de datos V-NET Client a Firebase	35

RESUMEN

Conforme la tecnología va avanzando también se va integrando en diferentes sectores de producción, siendo la agricultura un campo muy importante para el sector económico. A pesar de este conocimiento varias entidades gubernamentales como es el caso de Ecuador, donde se deja de lado la ayuda financiera, la tecnificación y capacitación a los agricultores de tecnología avanzada que facilite su trabajo y que en un futuro puedan competir de forma nacional e internacional con su producción agrícola. En estas situaciones, este trabajo de titulación desarrolló un sistema que integra una red de sensores con protocolo de comunicación Modbus bajo RS-485, para el sensado de parámetros como: humedad, temperatura, conductividad y Ph, una arquitectura de comunicación con tecnología IoT industrial, el uso de un autómata programable, una puerta de enlace y una base de datos de propietario (WECON). Además, se creó un intermediario bróker MQTT para la sincronización de datos desde V-NET Client de Wecon hacia Firebase con la vinculación hacia Google Colab, esto se debe a que en cualquier instante el agrogestor podrá ejecutar ciencia de datos mediante inteligencia artificial o aprendizaje automático. Los resultados muestran que la variación porcentual del envío de data fue de 75,4%, dato menor al de la comunicación V-NET/Firebase. Sin embargo, esta última comunicación reduce la latencia en un 64.5% comparada con la primera. Por otro lado, también se menciona que el servidor desarrollado como bróker MQTT entre V-NET y Firebase presenta un consumo eficiente de CPU en 2% y de memoria RAM del 16%.

Palabras clave: Agricultura, Broker, sincronización, IoT.

ABSTRACT

As technology advances, it is also being integrated into different production sectors, with agriculture being a very important field for the economic sector. Despite this knowledge, several government entities, such as Ecuador, where financial aid, technical training and training of farmers in advanced technology that facilitates their work and that in the future they can compete nationally and internationally with their agricultural production are left aside. In these situations, this thesis developed a system that integrates a sensor network with Modbus communication protocol under RS-485, for sensing parameters such as humidity, temperature, conductivity and Ph, a communication architecture with industrial IoT technology, that is, the use of a programmable automaton, a gateway and a proprietary database (WECON). In addition, an MQTT broker intermediary was created for data synchronization from Wecon's V-NET Client to Firebase with the link to Google Colab, this is because at any time the agro-manager will be able to execute data science through artificial intelligence or machine learning. The results show that the percentage variation in data sending was 75.4%, which is lower than that of the V-NET/Firebase communication. However, the latter communication reduces latency by 64.5% compared to the former. On the other hand, it is also mentioned that the server developed as an MQTT broker between V-NET and Firebase presents an efficient CPU consumption of 2% and RAM memory of 16%.

Keywords: Agriculture, MQTT, Synchronization, IoT.

INTRODUCCIÓN

La agricultura, que es la principal fuente de alimentos a nivel global, se enfrenta a importantes retos que impactan su sostenibilidad y eficiencia productiva (Carreño & Pabon, 2022). A nivel mundial, el cambio climático modifica los patrones de precipitación y temperatura, lo que perjudica los cultivos. Asimismo, la degradación del suelo, producto de prácticas agrícolas inadecuadas, disminuye la fertilidad y la productividad a largo plazo (Mahima & Begum, 2022). Estos problemas se agravan por la desigualdad de la tecnificación, situación que limita a los pequeños agricultores en la integración de tecnología avanzada que podrían mejorar su productividad y competitividad a nivel nacional e internacional. (Carreño & Pabon, 2022)

En América Latina, estos desafíos se reflejan en condiciones laborales difíciles, falta de acceso a recursos financieros, y un apoyo gubernamental insuficiente que impide la adopción de nuevos métodos de producción. (Perspectiva | El desarrollo rural en América Latina y el Caribe | Nueva Sociedad, 2021). Tal es el caso de Ecuador, donde la agricultura representa el 6,2% del PIB (9rios, 2024), y a pesar de esto, el 40% de la población rural se encuentran en el sector vulnerable de esta nación (Ecuador | Programa Mundial de Alimentos, 2024).

Ante estos acontecimientos, la academia y diferentes centros de investigación del país se encuentran desarrollando sistemas que integran diferentes tipos de tecnologías avanzadas y o emergentes como: IoT, procesamiento de datos, almacenamiento en la nube, inteligencia artificial, aprendizaje supervisado, etc. Si nos adentramos en el campo de la visualización y monitoreo, (Parada, 2021), (La agricultura de precisión - Ingeniería y gestión, 2022) y (García & Flego, 2014) mencionan que la agricultura de precisión representa una estrategia centrada en el uso de datos para una gestión óptima de la agricultura. Es así que (Verdes Horizontes, 2023) especifica que desarrollaron un sistema de sensores inalámbricos para monitorear en tiempo real variables como el nivel de humedad en el suelo y la temperatura del mismo, optimizando el uso de recursos y mejorando la productividad agrícola en entornos urbanos mediante riego automatizado y otros ajustes ambientales, así también, (Diago, 2024) implementó una infraestructura de comunicación IIoT en plantaciones agrícolas, caracterizando la propagación de señales inalámbricas para mejorar el monitoreo remoto de cultivos, reduciendo costos y aumentando la productividad, de la misma forma, (Creativa, 2023) implementaron una red de sensores inteligentes para la detección temprana de enfermedades en cultivos. Utilizando tecnologías como imágenes espectrales y análisis

predictivos, lograron identificar patrones de estrés en las plantas antes de que se manifestaran visualmente, lo que permitió aplicar tratamientos de forma localizada y reducir la propagación de enfermedades

Conforme a lo expuesto anteriormente, este proyecto aporta con la implementación de un sistema IoT con características industriales, para el monitoreo, visualización y almacenamiento de la data (Humedad, Ph, Conductividad y Temperatura) adquiridos de diferentes zonas de un terreno agrícola, para lo cual se usó sensores-, protocolo de comunicación RS485, autómata programable, dispositivo pasarela y plataforma de propietario, con el objeto de aplicar en un futuro algún tipo de MI, se establece conexión entre la base de datos de propietario y una plataforma de base de datos de libre acceso. De esta manera, el agro gestor ejecutará su accionar de acuerdo a la interpretación de la data almacenada.

CAPITULO 1

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Identificación

La necesidad de implementar un sistema industrial IIoT para el monitoreo y almacenamiento de datos agrícolas en la nube, como humedad, pH, conductividad y temperatura, optimizando el uso de recursos mediante tecnologías avanzadas.

1.2. Contextualización

A nivel global, la agricultura de precisión está transformando el panorama agrícola tradicional, destacando la importancia de tomar decisiones fundamentadas en datos para incrementar la productividad y asegurar la sostenibilidad. Las soluciones basadas en IIoT posibilitan el seguimiento en tiempo real de las condiciones del suelo, lo que permite a los agro-gestores tomar medidas oportunas para optimizar los rendimientos y minimizar el impacto ambiental. Sin embargo, problemas como la escasa conectividad en las zonas rurales, las barreras de costos y los problemas de integración de datos dificultan la implementación generalizada de estas tecnologías

En Ecuador, el ámbito agrícola sigue siendo una parte vital de la economía, pero enfrenta desafíos de productividad debido a prácticas obsoletas y acceso limitado a tecnologías avanzadas. La implementación de sistemas de IIoT adaptados a las condiciones locales puede mejorar significativamente la eficiencia, minimizar el derroche de recursos y aumentar la competitividad en el mercado global.

1.3. Justificación

Los sistemas de IoT en la agricultura, integran sensores, protocolos de comunicación y análisis basados en la nube para proporcionar información procesable (Puri, 2024). La implementación de estos sistemas se alinea con los principios de la Industria 4.0, promoviendo la transformación digital en la agricultura. Además, la adopción de métodos de agricultura de precisión puede abordar problemas críticos como la escasez de agua, la degradación del suelo y el monitoreo de la salud de los cultivos.

Este proyecto tiene como objetivo diseñar un sistema basado en IoT para el monitoreo de parámetros del suelo y la transmisión de datos a una plataforma en la nube. La información recopilada ayudará a los agricultores a tomar decisiones informadas, lo que conducirá a una gestión optimizada de los cultivos y la sostenibilidad ambiental.

1.4. Delimitación

El presente proyecto se enfoca en el desarrollo y la implementación de un sistema fundamentado en la tecnología IIoT para el monitoreo de variables críticas del suelo agrícola, como pH, temperatura, conductividad y humedad. La recopilación de datos se llevará a cabo mediante una red de sensores conectada a un autómata programable, utilizando el protocolo de comunicación RS485 para garantizar fiabilidad y resistencia al ruido. Los datos serán guardados en la nube, lo que permitirá un acceso más fácil y apoyará la toma de decisiones por parte de los agricultores. El alcance del proyecto se limita a la validación experimental del sistema en un entorno controlado, simulando condiciones propias de parcelas agrícolas, pero no se incluye su implementación en cultivos reales o a gran escala. Tampoco se contempla el análisis económico del impacto del sistema ni el desarrollo de técnicas de automatización avanzadas, como la detección de enfermedades en tiempo real. Además, el proyecto no aborda soluciones para áreas rurales con conectividad limitada; su enfoque se restringe a entornos donde las condiciones de transmisión de datos a la nube están aseguradas.

1.5. Alcance

El proyecto tiene como alcance el diseño, desarrollo e implementación de un sistema IIoT orientado al monitoreo de parámetros esenciales del suelo agrícola, tales como pH, temperatura, humedad y conductividad. Este sistema utilizará una red de sensores conectados a un autómata programable mediante el protocolo de comunicación RS485 para garantizar la fiabilidad y precisión en la adquisición de datos, que serán almacenados en la nube. La validación experimental se llevará a cabo en un entorno controlado que emula condiciones de parcelas agrícolas con franjas, permitiendo evaluar la funcionalidad y efectividad del sistema bajo condiciones simuladas. Además, el proyecto busca demostrar la viabilidad de integrar tecnologías avanzadas para la agricultura de precisión, optimizando la disponibilidad de datos en tiempo real, lo que facilita la toma de decisiones informadas y oportunas. Aunque el sistema está diseñado para ser escalable, no contempla su implementación en escenarios reales ni el análisis económico o social de su

impacto. Este estudio establece los cimientos para investigaciones futuras que puedan integrar algoritmos de inteligencia artificial y extender el uso del sistema a campos agrícolas reales, fomentando la sostenibilidad y la innovación tecnológica en la agricultura.

1.6. Formulación

A nivel global, la agricultura enfrenta desafíos relacionados con la degradación del suelo, la escasez de recursos y la falta de tecnificación, afectando la sostenibilidad y productividad de los cultivos. En Ecuador, aunque la agricultura es una actividad económica clave, su tecnificación es limitada, dificultando el acceso a herramientas que mejoren la competitividad de los pequeños agricultores (9rios, 2024). Frente a este contexto, se propone el diseño e implementación de un sistema IIoT que integre sensores de suelo con un autómata programable y almacenamiento en la nube, permitiendo la recopilación y gestión de datos en tiempo real. Este sistema no solo pretende optimizar el uso de recursos, sino también proporcionar una herramienta escalable y confiable para la agricultura de precisión.

1.6.1. Pregunta de Investigación

¿Cómo diseñarías una arquitectura de comunicación eficiente para integrar sensores de suelo con un sistema IIoT que permita el registro de datos, la monitorización remota y la gestión de alarmas en la nube?

1.6.2. Sub-preguntas de Investigación

- ¿Cómo se comparan los diferentes sistemas de automatización IIoT en términos de eficacia y costo para su implementación en agricultura de precisión?
- ¿Qué diseño implementaría para desarrollar una red de sensores conectada a un autómata programable, utilizando un protocolo de comunicación?
- ¿Cómo se comparan los diferentes sistemas de automatización IIoT en términos de eficacia y costo para su implementación en agricultura de precisión?
- ¿Qué métodos utilizarás para validar el funcionamiento de las diferentes capas de la arquitectura 4.0 implementada, mediante pruebas experimentales de campo?

1.7. Objetivos

1.7.1. Objetivo General

Desarrollar una red industrial IIoT de sensores de suelo para el registro de data, monitorización remota y gestión de alarmas en la nube mediante una arquitectura de comunicación (planta – nube – agro gestor).

1.7.2. Objetivos Específicos

- Investigar sobre sistemas de automatización IIoT para su implementación en agricultura 4.0, mediante documentos de índole científico y base de datos especializadas.
- Desarrollar una red de sensores (PH, Temperatura, humedad, conductividad) hacia un autómeta programable, con protocolo de comunicación RS485 para una digitalización de la información fiable de bajo consumo energético y con resistencia al ruido e interferencias.
- Implementar una arquitectura de flujo de datos que permita la conectividad y registro de parámetros de un suelo agrícola en la nube, a través de dispositivos industriales, protocolos de comunicación y una base de datos que permita la migración de la data.
- Verificar el funcionamiento de las diferentes niveles y capas de la arquitectura 4.0 implementada para su validación, mediante pruebas experimentales de campo.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Introducción

En este capítulo se detallará los antecedentes de investigación que formulan la contextualización y fundamentación de investigación dentro de un contexto teórico y práctico de la ingeniería sobre este tema de trabajo de titulación, partiendo de bases del conocimiento existente y como se estrecha la problemática planteada de hipótesis en tesis.

Es así que este proyecto de titulación pretende desarrollar una red de sensores distribuidos estratégicamente en el terreno agrícola para adquirir valores de variables del estado del suelo, como la conductividad, Ph, temperatura y humedad, data que serán enviados hacia una base de datos de la plataforma WECON la cual posee un grado de seguridad 9, propio de una IIoT.

A través de un análisis exhaustivo de la literatura existente, se ha identificado diferentes proyectos para el monitoreo, visualización y almacenamiento, pero desde un punto de vista experimental de laboratorio o en su defecto la implementación de estas tecnologías, pero con equipos, plataformas y protocolos de comunicación no industriales, situación considerable e importante en seguridad y robustez de ambientes hostiles. En este aspecto a continuación se menciona diferentes aportes metodológicos que da solución de cierta manera a la problemática planteada en el capítulo anterior.

2.1.1. Agricultura de precisión para el monitoreo, visualización y almacenamiento de la data

Uno de los mayores desafíos en la agricultura moderna es el monitoreo eficiente de las condiciones del suelo y las plantas, y cómo los datos recolectados pueden ser utilizados para mejorar las decisiones agrícolas. Con la implementación de redes de sensores en el campo, es posible realizar un seguimiento detallado de variables como el pH, la temperatura, la conductividad y la humedad del suelo, lo que facilita un manejo más preciso y eficiente de los recursos agrícolas. Se propone la integración de tres elementos clave en este proceso: el monitoreo de condiciones en tiempo real, la visualización adecuada de los datos y el almacenamiento en la nube. El monitoreo se lleva a cabo mediante sensores distribuidos en el campo, los cuales recogen información continuamente y la envían a un sistema centralizado para su procesamiento. Este enfoque permite obtener datos precisos sobre el estado del terreno, facilitando una intervención más efectiva y oportuna. La

visualización de la data es otro componente esencial, ya que permite que los agricultores accedan a los datos a través de plataformas móviles o computadoras. Esta visualización ayuda a detectar patrones, establecer tendencias y recibir alertas tempranas sobre posibles problemas en el campo, lo cual resulta en una toma de decisiones más informada y rápida.

El almacenamiento de los datos en la nube es crucial para asegurar la accesibilidad y la seguridad de la información. La nube ofrece la ventaja de almacenar grandes volúmenes de datos sin la necesidad de infraestructura local costosa, además de permitir el acceso remoto desde cualquier lugar. La capacidad de acceder a los datos históricos también permite realizar un análisis comparativo, mejorando la planificación y las predicciones para las cosechas futuras.

Este enfoque de agricultura de precisión no solo optimiza el uso de los recursos, como agua, fertilizantes y pesticidas, sino que también incrementa la productividad y sostenibilidad de las actividades agrícolas. El monitoreo constante y la capacidad de análisis de los datos favorecen prácticas agrícolas más eficientes y responsables, contribuyendo a un futuro agrícola más sustentable.

2.1.2. Antecedente 1

Proyecto: “SmartFarmNet”

Hoy en día ha surgido el término agricultura de precisión, que implica adaptar nuevas tecnologías a este proceso para mejorar y aumentar los rendimientos y reducir el impacto en la salud de los trabajadores a largo plazo. Hay muchas ciudades que no son tomadas en serio porque la gente no conoce o no está familiarizada con estas tecnologías.

Por tal motivo, SmartFarmNet tiene como objetivo y se propone conectar a los gestores agrícolas con la digitalización y la agricultura de precisión para mejorar la eficiencia de la producción agrícola. Esto incluye la participación en tiempo real en los mercados nacionales e internacionales, la mejora de la rentabilidad y la productividad mediante el envío de datos a agrónomos y proveedores, y el almacenamiento seguro de datos históricos de la granja para un análisis eficiente y una mayor productividad. Además, ayuda en la gestión del rebaño y el monitoreo de la tierra, y proporciona acceso confiable a videoconferencias, recursos educativos y atención médica en línea, aumentando el valor de la propiedad y las conexiones familiares sin costo (SmartFarmNet, 2019).

2.1.3. Antecedente 2

Proyecto: “Siemens MindSphere”

Con el objetivo de mejorar la producción agrícola e industrial, la automatización y el uso de herramientas IoT, hoy en día estas mismas están ganando poco a poco más protagonismo, desde la implementación de procesos automatizados, hasta el uso de almacenamiento de datos en la nube, permitiendo así mejoras significativas en la producción.

Es por eso que Siemens MindSphere propone un sistema operativo basado en la nube diseñado para el Internet de las cosas (IoT) que conecta sistemas físicos mediante una plataforma digital. Su objetivo es transformar los datos generados por equipos mecánicos en información valiosa que pueda utilizarse para optimizar los procesos industriales (MindSphere, 2017).

Este proyecto permite a las organizaciones identificar patrones, mejorar la eficiencia operativa y facilitar la toma de decisiones informada a través de la capacidad de analizar grandes cantidades de datos. La plataforma también proporciona herramientas para desarrollar e implementar aplicaciones personalizadas, lo que permite a las empresas adaptar la solución a sus necesidades específicas (MindSphere, 2017).

2.1.4. Antecedente 3

Proyecto: “SWAMP (Smart Water Management Platform)”

Una de las mayores necesidades dentro del campo de la agricultura, es el acceso a agua, un problema que muchos agrogestores mantienen, el poco acceso a la misma y los problemas de contaminación en el mundo, hacen que esta misma sea un producto escaso.

Debido a que este problema puede resolverse mediante ingeniería aplicada, el proyecto Smart Water Management Platform (SWAMP) busca transformar la gestión del agua mediante la implementación de tecnología utilizando el Internet de las cosas (IoT), este sistema está diseñado para optimizar el riego de precisión y mejorar la eficiencia en el uso del agua agrícola.

Además, el uso de técnicas avanzadas de análisis de datos puede permitir a los agricultores y administradores del agua tomar decisiones informadas que no solo pueden aumentar la productividad agrícola, sino también contribuir a la sostenibilidad ambiental (Smart Water Meter - Hebei Shanghong Water Meters Technology Co.,Ltd, 2018)

2.1.5. Antecedente 4

Proyecto: “Airly (IoT para calidad del aire)”

La calidad del aire es un factor que también se toma en cuenta en el campo de la agricultura, la contaminación del aire tiene mucho impacto en la producción agrícola, haciendo que cultivos retrasen su crecimiento, hasta la muerte de los mismos, dando como resultado pérdidas significativas para los agrogestores, la aplicación del IoT ha ayudado a que este tipo de factores sea controlado por los productores para así tener mejores resultados y aumentar su producción.

El proyecto Airly⁹ tiene como enfoque principal la monitorización de la calidad del aire. Su principal objetivo está en hacer que la información relativa a la calidad del aire sea accesible y comprensible para una amplia audiencia, fomentando así la concienciación sobre este tema crucial. A través del desarrollo y despliegue de sus dispositivos de medición, Airly es capaz de recopilar datos en tiempo real sobre la contaminación del aire en diversas localidades lo cual ayuda a que los monitoreos tengan un impacto positivo para los cultivos que se encuentren en la zona.

Los datos que proporciona Airly no solo incluyen niveles de contaminantes específicos, sino que también ofrecen contextos que permiten a los usuarios interpretar la información de manera efectiva, ayudando a entender los riesgos asociados con la exposición a la contaminación ayudando a prevenir pérdidas, facilitando al agrogestor la eficiencia en su producción.

Además, la plataforma que Airly ofrece, junto con sus aplicaciones móviles, facilita a los usuarios tomar decisiones informadas respecto a su salud y estilo de vida en función de los niveles de calidad del aire en su área. Así, Airly contribuye significativamente a la sensibilización sobre la problemática de la contaminación atmosférica y al empoderamiento de las personas para que puedan actuar en pro de un entorno más saludable.

2.2. Fundamentación Teórica

2.2.1. Suelo, Producción y Calidad

El suelo es un elemento vital en la agricultura, dado que constituye el entorno físico, nutricional y biológico donde se desarrollan las plantas. No obstante, muchos de los elementos que definen su calidad no son perceptibles a primera vista. La calidad del suelo se refiere a su habilidad para suministrar los nutrientes necesarios, conservar la humedad de forma eficaz, facilitar el flujo de aire y generar un entorno favorable para los microorganismos que causan la degradación de la materia orgánica.

Es crucial no solo para asegurar un adecuado desempeño de las cosechas, sino también para la sostenibilidad a largo plazo de la agricultura. En la agricultura de precisión, la calidad del terreno cobra una relevancia aún más significativa. La agricultura de alta exactitud requiere la aplicación de una agricultura de precisión (Yin et al., 2022).

2.2.2. Cuidados del suelo

La tierra se revela como un recurso vital, en calidad de base y ambiente para plantaciones que alimentan tanto personas como animales y fauna silvestre. Puesto que plantaciones necesitan condiciones particulares de ubicación para crecer y desarrollarse, el recurso de suelo debe ser manejado de modo responsable.

Cuidar del suelo garantiza el nivel adecuado de alimento en el futuro, así como material para ropa o generación de energía. Cabe destacar que la preocupación por el suelo está correlacionada con la preocupación por el acceso a agua, que limpie capas de tierra y mejore su calidad. Esta última, cabe recordar, es clave para disolver los elementos necesarios para el desarrollo de plantas. Manejando de modo inteligente los recursos ya disponibles, garantizamos la oportunidad de acceso a sucesivas generaciones y, por ende, con una disponibilidad óptima de suelo, precios más bajos para los alimentos (Vasyl Cherlinka, 2021).

2.2.3. Propiedades Físicoquímicas del suelo

Las propiedades físicoquímicas del suelo son fundamentales para entender su capacidad para sostener la vida vegetal. Características como la textura, el pH, la capacidad de retención de agua y la disponibilidad de nutrientes influyen directamente en el crecimiento de los cultivos. Estas propiedades afectan la interacción entre el suelo, las plantas y los microorganismos, lo que hace

crucial su estudio para una gestión eficiente y sostenible del suelo, especialmente en el marco de la agricultura de precisión.

Propiedades físicas

- **Profundidad:** Propiedad del suelo donde las raíces se anclan para obtener agua y nutrientes, limitada por roca.
- **Textura:** La distribución de partículas en el suelo determina su textura y propiedades. Los suelos arenosos son gruesos, con baja retención de agua y nutrientes, mientras que los arcillosos son finos y retienen más agua, pero son propensos a la compactación. El suelo ideal tiene 40% arena, 40% limo y 20% arcilla (López y Estrada, 2015).
- **Estructura:** La disposición de las partículas de arena, limo y arcilla que da lugar a la formación de agregados. Esta característica optimiza la infiltración de agua y la circulación de oxígeno, favoreciendo la retención hídrica necesaria para el adecuado crecimiento de las plantas.
- **Densidad:** La densidad del suelo se relaciona con la porosidad y se clasifica en dos tipos: densidad aparente (DA) y densidad real (DR). La DA mide el volumen de sólidos y poros, mientras que la DR se refiere solo a la masa de los sólidos. La DA indica la compactación del suelo, afectando el crecimiento de las raíces, y la DR refleja la composición mineral y el contenido de materia orgánica. (López y Estrada, 2015)
- **Temperatura:** La temperatura del suelo está influenciada por la cantidad de calor que este retiene en relación con las pérdidas de humedad debidas a la radiación y la evapotranspiración de las plantas. La cantidad de calor presente en el suelo varía según el clima, el color del suelo, la altitud y la densidad de la vegetación (Franzluebbers et al., 2001).
- **Porosidad:** Representa el porcentaje del volumen del suelo que está ocupado por agua, nutrientes, aire y gases, los cuales pueden circular o almacenarse. Esta propiedad tiene el potencial de alterar la capacidad del suelo para retener agua, lo que, a su vez, impacta en las tasas de transpiración y fotosíntesis de las plantas.

- **Color:** El color del suelo puede ser indicativo del origen de su material parental, la cantidad de materia orgánica presente, su capacidad de infiltración y la concentración de sales y carbonatos en el suelo.

Propiedades químicas

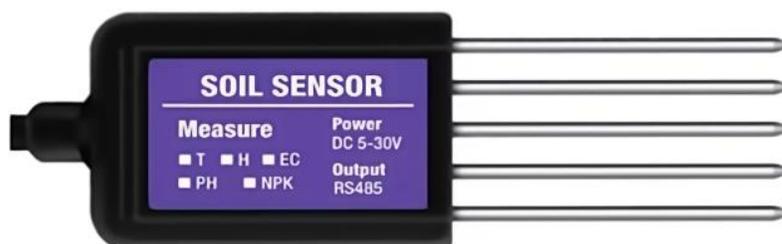
- **Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC):** Esta característica define la cantidad y disponibilidad de nutrientes para las plantas. Los suelos arenosos y con bajo contenido de materia orgánica presentan una CIC reducida (López y Estrada, 2015).
- **Conductividad eléctrica:** Es la capacidad del suelo para conducir electricidad, la cual está determinada por la cantidad de sales disueltas o ionizadas en la solución del suelo. A mayor conductividad eléctrica (CE), mayor será la concentración de sales (López y Estrada, 2015).
- **pH:** Es la capacidad del suelo para captar iones positivos de las partículas presentes, lo que permite determinar su grado de acidez o alcalinidad.

2.2.4. Sensor para suelo PH-V5

El sensor para suelo PH-V5, cuenta con la medición de temperatura para el suelo, la humedad, PH y conductividad (CE), la recolección de datos que este realiza es de alta precisión y cuenta con una respuesta rápida. Este tipo de sensor es apto para todo tipo de suelo ya que cuenta con una gran resistencia a la electrolisis y la corrosión debido a la humedad, siendo un sensor completamente impermeable (Ja-Bots, 2023).

El sensor PH-V5 mide las propiedades del suelo (temperatura, humedad, PH y conductividad (CE)) mediante un sistema de electrodos, convierte la señal generada en digital y envía los datos a un controlador (PLC) o dispositivo de medición para su posterior procesamiento y visualización.

Figura 1 Sensor para suelo PH-V5

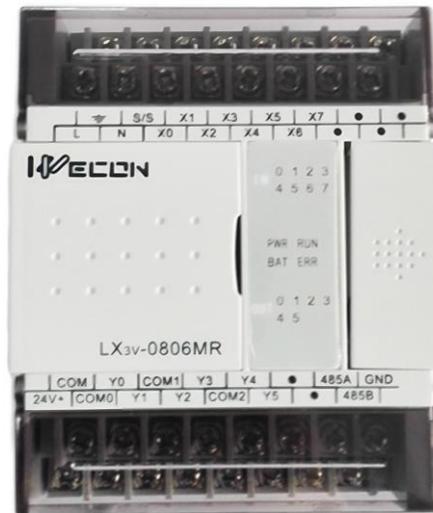


2.2.5. Wecon PLC LX3V-0806MR

El Wecon PLC LX3V-0806MR es un controlador lógico programable (PLC) versátil y compacto, diseñado para diversas aplicaciones de automatización industrial. Con 8 entradas digitales y 6 salidas digitales configurables como transistor o relé, además de 2 salidas de pulso de alta velocidad capaces de manejar frecuencias de hasta 100 kHz, ofrece una excelente capacidad de control y respuesta.

Su alimentación de AC85-265V o DC24V permite una integración flexible en diferentes entornos y sistemas. La programación se lleva a cabo mediante un software amigable, que soporta varios lenguajes estándar de programación industrial, facilitando el desarrollo de soluciones automatizadas. Gracias a su diseño modular, este PLC se utiliza comúnmente en el control de maquinaria, sistemas de control de procesos en industrias como la alimentaria y farmacéutica, así como en la automatización de edificios.

Figura 2 Wecon PLC LX3V-0806MR



2.2.6. Autómata Programable en la agricultura

Los autómatas programables (PLC) surgieron en los años 60 para solucionar problemas de control en sistemas complejos y costosos, reemplazando la lógica cableada por una opción más flexible y económica (Konetia, 2022).

La FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura) conceptualiza la automatización como la implementación de una variedad de herramientas y

equipos, que abarcan desde instrumentos manuales simples hasta maquinaria más avanzada y motorizada, en los procesos agrícolas (FAO, 2016).

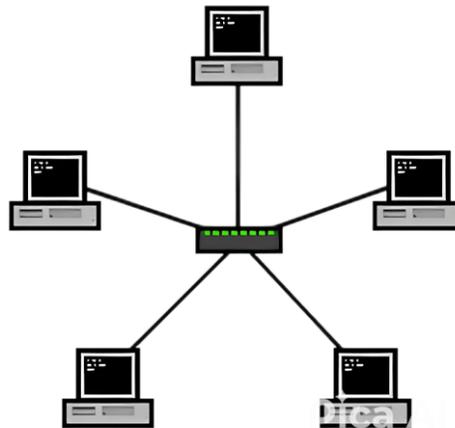
2.2.7. Topología

La red de sensores industriales que determinan el pH, conductividad, humedad y temperatura del suelo en diferentes áreas de cultivo, debe tener un controlador, siguiendo así un modelo de trabajo “maestro - esclavo”, donde el Autómata Programable sea el encargado del control de datos obtenidos por los sensores.

Para cumplir con lo requerido, se debe analizar la topología más adecuada para este caso, por lo tanto, la topología tipo Estrella es la que mejor se adaptara para esta situación.

Una topología en estrella se caracteriza por la conexión de las estaciones (sensores y v-box) a un nodo central, a través del cual se canalizan todas las comunicaciones (PLC). En este modelo, los dispositivos no se interconectan directamente entre sí, lo que limita la cantidad de tráfico de datos permitido. (Rivera y Orellana, 2017).

Figura 3 Topología tipo Estrella



2.2.8. Comunicación Sensor – PLC

La puesta en marcha de redes de sensores para recolectar y vigilar datos en tiempo real precisa sistemas de comunicación fiables que se ajusten a las diversas condiciones de cada entorno. En los proyectos que involucran la medición de diferentes parámetros del suelo, como la temperatura, el pH, la conductividad y la humedad, es vital contar con la habilidad de conectar diversos sensores en un sistema eficaz.

En esta situación, el protocolo RS485 destaca como una solución perfecta por sus beneficios en cuanto a alcance, resistencia ante interferencias electromagnéticas y sencillez al enlazar múltiples dispositivos en un bus de comunicación. Este protocolo se emplea extensamente en diversas aplicaciones industriales y agrícolas, resaltando su habilidad para asegurar la transmisión precisa y fiable de datos, incluso en condiciones desfavorables.

2.2.9. Protocolo RS-485

RS485 (EIA/TIA-485) representa una interfaz de comunicación que perfecciona la popular RS232. Se vale de un cable de par trenzado para enviar señales de forma diferencial, disminuyendo así las interferencias, Se puede emplear hasta una distancia de 1200 metros alcanzando velocidades de hasta 100 kbits/s (Weis, 2021).

Características

- RS485 funciona en modo semidúplex, en el cual un nodo principal emite órdenes y los demás nodos responden. Hay casos en los que los nodos tienen la capacidad de iniciar la comunicación, lo cual puede incrementar el riesgo de perder datos.
- Modbus es un protocolo ampliamente utilizado en RS485, empleando un modelo de comunicación cliente-servidor. Permite que los dispositivos soliciten información y supervisen configuraciones.
- RS485 posibilita la conexión de hasta 32 dispositivos y además permite alcanzar mayores velocidades (de hasta 10 Mbps a 15 metros).

2.2.10. V-Box

El V-Box de Wecon es un dispositivo que se utiliza para construir un sistema de IoT industrial, permitiendo la comunicación a través de interfaces como RS-232, RS-485 y Ethernet. Este dispositivo es útil para depuración remota, web SCADA y monitoreo de aplicaciones, facilitando la interacción con varios tipos de PLC, servos y otros instrumentos. Está diseñado con tecnologías en la nube para garantizar un sistema seguro y fiable.

Figura 4 V-Box

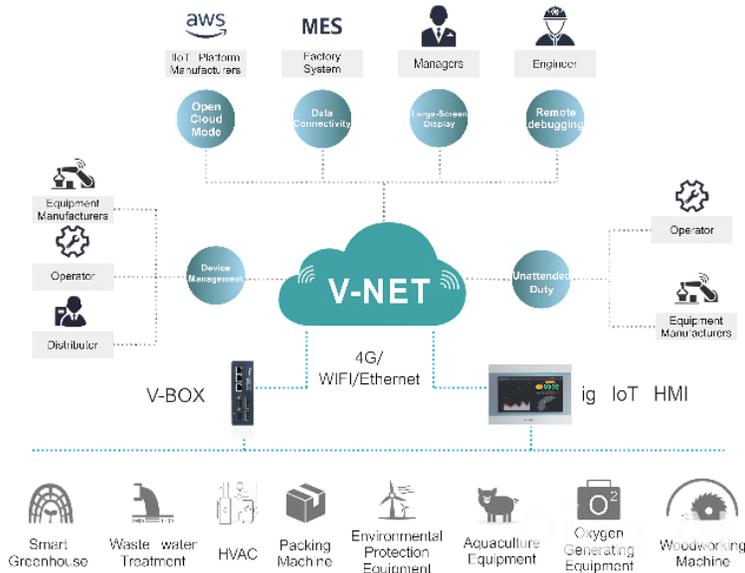


2.2.11. V-NET Client

VNET de Wecon es una innovadora plataforma que ofrece a los usuarios la posibilidad de acceder y visualizar manuales y documentación técnica de productos relacionados con la automatización industrial, como interfaces hombre-máquina (HMI) y controladores lógicos programables (PLC). Esta herramienta está diseñada para mejorar la accesibilidad y la eficacia en la resolución de problemas técnicos mediante la presentación de información organizada sobre el uso y la configuración de dispositivos Wecon, así como el soporte para la implementación de soluciones de Internet de las Cosas Industrial (IIoT).

La plataforma facilita la conectividad entre diferentes dispositivos y sistemas, promoviendo la interoperabilidad y el intercambio de datos en entornos industriales (WECON, 2023).

Figura 5 V-NET Client



2.2.12. Adaptador RS-485 a USB

Un adaptador de RS-485 a USB permite la comunicación bidireccional entre el puerto USB de un computador y dispositivos que utilizan protocolo RS-485. Estos adaptadores son compatibles con sistemas operativos desde Windows 98 hasta Windows 10 y pueden incluir características como indicadores de energía y comunicaciones, así como protección contra sobretensiones.

Figura 6 RS-485 a USB



Capítulo III

3. Marco Metodológico

3.1. Introducción

En este capítulo se pondrá a conocimiento con detalle lo que conlleva el desarrollo de un sistema como parte de la agricultura de precisión para el monitoreo, visualización y almacenamiento de las propiedades físico químicas del suelo por medio de una red de sensores, protocolos de comunicación entre un autómata programable y una base de datos de propietario WECON y también la replicación de datos a una plataforma (ver figura 1) que permita en trabajos futuros de escalabilidad, confiabilidad y accesibilidad de la data para el desarrollo de aprendizaje supervisado. Además, mediante un análisis del requerimiento para el proyecto puesto en marcha, se indicará como fue la elección de los dispositivos de hardware y programas de software empleados en este trabajo de titulación.

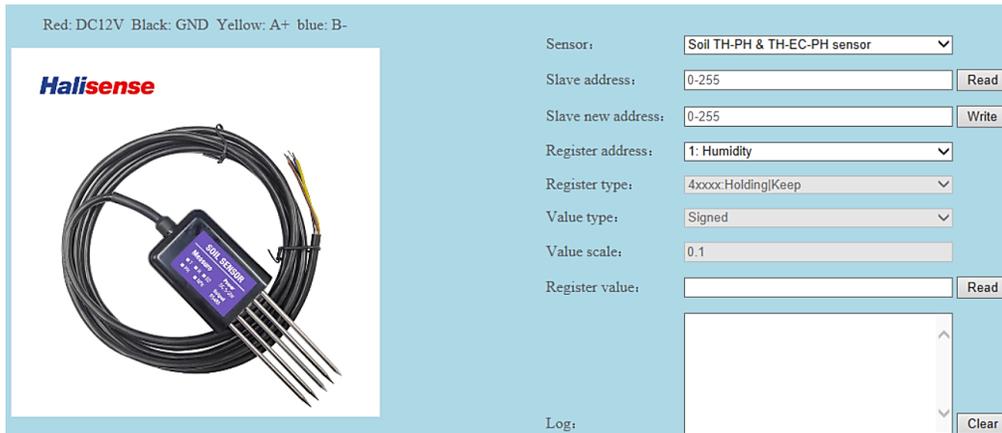
3.2. Red de sensores para suelo

Considerando que el PLC WECON LX3V-0806MR dispone de entradas con un módulo de comunicación Modbus, situación que da paso para el escaneo comercial de aquellos sensores que reúnan la característica de comunicación con el PLC y los parámetros de medición del suelo (Ph, conductividad, temperatura y humedad). También se consideró la facilidad que tenemos hoy en día en la importación de productos de otros países, destacando costos, tiempo y características técnicas de uso. En tal situación, se dispuso de 5 módulos de sensado (PH-V5) con parámetros de medición del suelo antes mencionados y con comunicación Modbus sobre RS-485.

3.2.1. Configuración de sensores (PH-V5)

Para el correcto funcionamiento de los sensores, se utiliza el software Halisense Modbus soil sensor tool (ver figura 7a), el cual fue instalado en la PC de trabajo y mediante un adaptador de comunicación RS-485 a USB se configuró en cada módulo de sensado su identificación de esclavo, velocidad de transmisión y recepción de información TxD/RxD y el tipo de parámetro que se desea medir, con esta acción se identifica y se añaden parámetros de medición del suelo de forma fácil y efectiva a cada sensor, tal como se observa en la figura 7b

Figura 7a y 7b Software Halisense Modbus soil sensor tool y selección de parámetro a sensar



(a)

- 1: Humidity
- 2: Temperature
- 3: Conductivity
- 4: PH
- 8: Salinity
- 9: TDS
- 10: Conductivity factor
- 11: Salinity factor
- 12: TDS factor
- 13: Temperature offset
- 14: Humidity offset
- 15: Conductivity offset
- 16: PH offset
- 17: Baud

(b)

En la figura 7a se observa que los sensores cuentan con 4 cables que conforman la comunicación RS-485, cada uno tiene un color distinto, así mismo cada cable tiene un objetivo específico, es decir; el cable rojo se usa para la alimentación a 12 VDC, el cable negro se conecta a tierra (GND) y el cable amarillo positivo (A+) y el cable azul negativo (B-) son transmisión y recepción de entrada/salida de data.

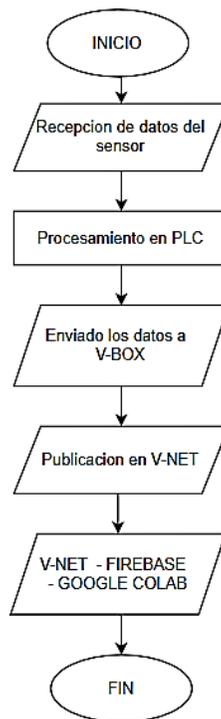
También se configuró la velocidad de transmisión y recepción, entrada/salida TxD/RxD+, TxD/RxD- a 9600 baudios, por el puerto COM1 y sin pariedad.

3.3. Autómata programable (PLC LXV WECON) para la adquisición y envío de datos a la nube

Como se había mencionado en un apartado de la sección del planteamiento del problema, es menester emplear un autómata programable que brinde ciertas características técnicas y a la vez sean exequibles para proyectos de bajo presupuesto, siendo este punto como fuerte para la elección de este controlador.

El siguiente diagrama de bloques de la arquitectura de comunicación se detalla el proceso completo de adquisición de datos desde los sensores, su procesamiento mediante el PLC WECON y por medio de una puerta de enlace (V-BOX) la data se almacena de forma local por medio de un middleware (V-NET Client) que a su vez y de forma automática también la envía hacia una base de datos (Firestore) para de esta manera y desde una herramienta basada en la nube se pueda aplicar ciencia de datos.

Diagrama de bloques 1 Adquisición y envío de datos a la nube.

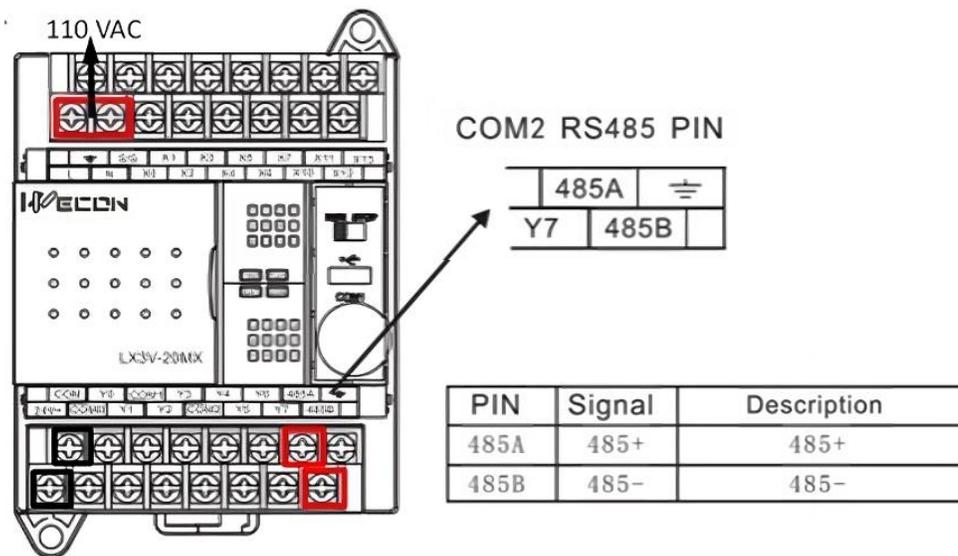


3.3.1 Recepción de datos del sensor

El proceso comienza con la recepción de datos. Los sensores configurados previamente fueron conectados a las entradas del PLC utilizando el protocolo RS485, empleando los pines 485A y 485B. Estos pines representan señales diferencial positiva y negativa, respectivamente, lo que asegura una transmisión robusta y confiable en entornos industriales.

Cada sensor fue configurado como dispositivo esclavo Modbus RTU, asignándoles una dirección única (número de esclavo) para facilitar la identificación y adquisición de los datos. Esta configuración permite que el PLC, en su rol de maestro, solicite y reciba información desde los sensores de manera ordenada y eficiente.

Figura 8 Conexión de sensores RS485 y alimentación



3.3.2 Procesamiento en PLC

El software WECON PLC EDITOR fue utilizado para desarrollar el programa de control necesario para la gestión de los datos de los sensores y su transmisión hacia la nube. Para establecer la comunicación entre el PLC y el computador, se utilizó un cable de comunicación micro USB. Una vez conectado, se creó un nuevo proyecto seleccionando la serie y modelo del PLC WECON LX3V, y se configuraron los parámetros iniciales. Posteriormente, se realizó una prueba de conexión para asegurar que la comunicación era correcta y estable.

El programa fue diseñado utilizando el estándar de programación Ladder Logic (diagrama de escalera), el cual permite representar gráficamente las instrucciones necesarias para la adquisición y envío de datos. En este diseño, se configuraron registros internos del PLC, conocidos como memorias especiales, para definir aspectos fundamentales del puerto COM2 y garantizar la comunicación eficiente bajo el protocolo RS485.

Figura 9 Emparejamiento en WECON PLC EDITOR

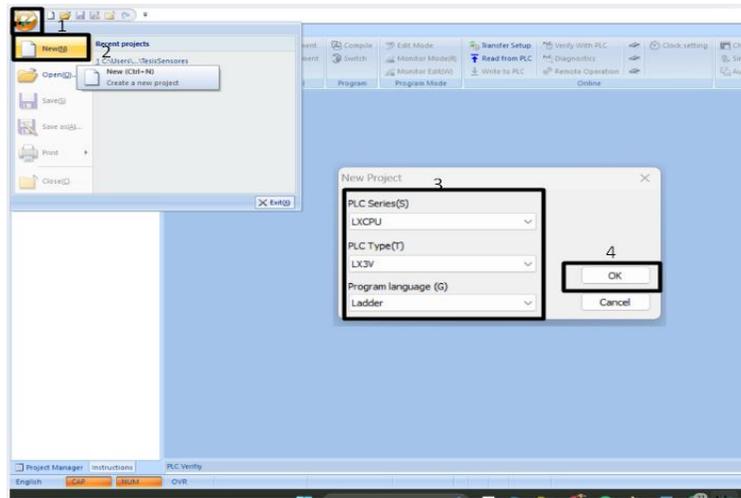
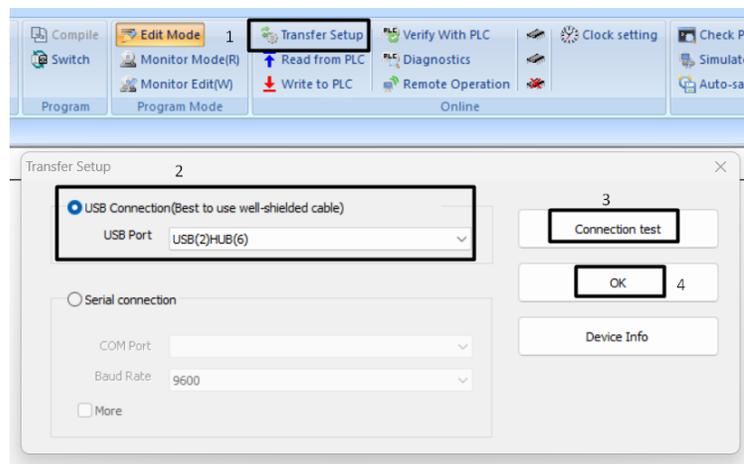


Figura 10 Emparejamiento en WECON PLC EDITOR



El registro **D8120** es uno de estos elementos clave. Este registro permite configurar parámetros esenciales del puerto serial, como la velocidad de transmisión, los bits de datos, el bit de parada y la paridad. Siguiendo las indicaciones del manual del PLC (Figura 10), se configuraron estos valores de la siguiente manera: una velocidad de transmisión de 9600 bps, correspondiente a los

bits b7-b4 = 1000, asegurando estabilidad y compatibilidad con los sensores; 8 bits de datos, representados por el bit b0 = 1, lo que garantiza una representación completa de los datos; 1 bit de parada, configurado con el bit b3 = 0, proporcionando una sincronización adecuada; y ninguna paridad, configurada con los bits b2-b1 = 00, eliminando la necesidad de bits adicionales para detección de errores. Combinando estos valores, el registro **D8120** quedó configurado como 10000001 en binario, equivalente a **H81** en hexadecimal. Este valor fue cargado en el registro mediante la instrucción MOV H81 D8120, como se observa en el Anexo 1.

Figura 11 Parámetros para configuración D8120

 LX3V Series PLC programming manual

Item	Parameter	Bit value of D8120							
		b7	b6	b5	b4	b3	b2	b1	b0
Baud rate (Bps)	115200	1	1	0	0	-	-	-	-
	57600	1	0	1	1	-	-	-	-
	38400	1	0	1	0	-	-	-	-
	19200	1	0	0	1	-	-	-	-
	9600	1	0	0	0	-	-	-	-
	4800	0	1	1	1	-	-	-	-
Stop bit	1 bit	-	-	-	-	0	-	-	-
	2 bit	-	-	-	-	1	-	-	-
Parity	None	-	-	-	-	-	0	0	-
	Odd	-	-	-	-	-	0	1	-
	Even	-	-	-	-	-	1	1	-
Data bit	7 bit	-	-	-	-	-	-	-	0
	8 bit	-	-	-	-	-	-	-	1

El registro **D8126** fue configurado para operar bajo el protocolo Modbus RTU, definiendo al PLC como maestro. Esta configuración es crucial para la comunicación eficiente en la red RS485. Según el manual del PLC, el valor **H20** debe ser asignado al registro D8126 para esta función, como se observa en la Figura 16. Además, la programación detallada en Ladder Logic para esta configuración se incluye en el Anexo 1.

Figura 12 Configuración D8126

Protocol	Description	Value of D8126
WECON PLC Protocol	Using WECON PLC Protocol	01H
MODBUS RTU Master	PLC is slave device	02H
MODBUS ASCII Master	PLC is slave device	03H
MODBUS RTU Slave	PLC is master device	20H
MODBUS ASCII Slave	PLC is master device	30H

La programación del PLC incluye instrucciones para leer los registros de los sensores conectados mediante el protocolo Modbus RTU y almacenar los valores obtenidos en las memorias internas del PLC para su procesamiento o transmisión posterior. Esta lógica fue diseñada utilizando el estándar Ladder Logic, como se detalla en el Anexo 1.

En este diseño, se utilizó la instrucción MOV H103 D30 para cargar el valor hexadecimal H103 en el registro D30. Este valor H103 representa la configuración necesaria para leer registros de los sensores esclavos. En este caso:

1: Define el número del dispositivo esclavo al cual se dirige la solicitud. Con esta configuración, el PLC establece comunicación con los sensores conectados y solicita los valores correspondientes.

03: Indica la función de lectura de registros según el protocolo Modbus RTU.

Posteriormente, se emplean las instrucciones RS (Remote Station) es utilizada para gestionar la comunicación con los sensores conectados bajo el protocolo Modbus RTU. Esta instrucción permite enviar y recibir datos entre el PLC y los dispositivos esclavos a través de registros específicos. A continuación, se describen los operandos clave que configuran esta instrucción:

- **S:** Representa la dirección base del registro donde se almacena el encabezado para enviar o recibir los datos. En este caso, el registro **D30** actúa como la cabecera, cargada previamente con el valor **H103**, que indica la función de lectura y el esclavo al que se solicita información.
- **m:** Define la longitud del dato a enviar. En esta configuración, se asigna **0**, ya que no se envían datos adicionales al esclavo, solo se solicita información.

- **D:** Es la dirección base donde se almacenan los datos recibidos desde el esclavo. En este caso, los valores se registran en **D32, D34, D36, D38, y D40**, correspondientes a las variables medidas por los sensores (humedad, temperatura, pH y conductividad).
- **n:** Representa la longitud de los datos que se reciben del esclavo. Se configura con el valor **K2**, lo que indica que cada lectura comprende **2 bytes**.

La relación entre las direcciones de los sensores y los registros del PLC se detalla en la figura 13, que muestra las direcciones, significado, longitud de datos y el contenido de cada variable medida.

Figura 13. Comunicación RS485 Manual sensores

Read status registers, read function code: 0x30					
Register address (Hex)	PLC Address (decimal)	meaning	Number of bytes	content	remark
0000	40001	Humidity	2	0.1%RH	read
0001	40002	Temperature	2	0.1℃	read
0002	40003	Conductivity	2	1	read
0003	40004	PH	2	0.1	read

- **Humedad:** Leída desde el esclavo y almacenada en **D32**.
- **Temperatura:** Almacenada en **D34**.
- **pH:** Almacenada en **D36**.
- **Conductividad:** Almacenada en **D38**.

Esta estructura asegura que cada valor recibido del esclavo se almacene de manera ordenada y estandarizada, facilitando su uso en procesos posteriores.

3.3.3 Envío de datos a V-BOX

El PLC WECON LX3V se conecta al V-Box mediante el puerto COM1, el cual utiliza un conector DB9. Este conector está diseñado para soportar protocolos como RS485, permitiendo la transmisión de datos de manera confiable entre ambos dispositivos. Los pines utilizados para la conexión son los siguientes, según la especificación del V-Box.

Figura 14 Entrada RS422 V-BOX



Tabla 1 Definición de los pines COM1 V-BOX

Pin	Definición	Pin	Definición
1	RS422 TX+/RS485 A+	2	RS232 RXD
3	RS232 TXD	5	GND
6	RS422 TX-/RS485 B-	8	RS422 RX-
9	RS422 RX+		

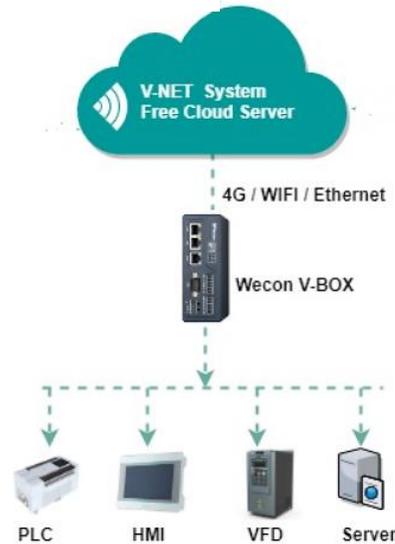
La transmisión de datos sigue el estándar Modbus RTU previamente configurado en el PLC. Esta conexión asegura que la información recopilada por los sensores y procesada por el PLC sea transferida al V-Box sin pérdida ni interferencias.

Adicionalmente, el V-Box se alimenta con **24V AC**, tomados directamente del PLC a través de una salida dedicada. Esta configuración elimina la necesidad de fuentes de alimentación externas, simplificando el diseño eléctrico del sistema y garantizando la sincronización energética entre ambos dispositivos. El V-Box actúa como un puente, enviando los datos recibidos al sistema V-NET.

3.3.4 Publicación de datos en V-NET

El V-Box transmite los datos adquiridos por el PLC hacia la plataforma V-Net, donde pueden ser visualizados y gestionados en tiempo real. Este proceso se basa en la construcción de una red privada virtual (VPN) segura y estable entre la computadora, el PLC y el servidor V-Net, garantizando una comunicación confiable y protegida.

Figura 15 Comunicación V-box y la plataforma V-net



En V-Net, se configuran las entradas previamente programadas en el PLC. Cada variable (como temperatura, humedad, pH y conductividad) se asigna a un registro específico y se etiqueta para su identificación en la plataforma. Estas configuraciones aseguran que los datos transmitidos por el PLC sean correctamente visualizados en la interfaz de V-Net, como se muestra en la Figura 15.

Figura 16 Configuración de etiquetas y registros en V-Net para la visualización de datos.

Edit tag ✕

Name	Temperatura Esc. 1		
Connection	2-COM1		
Port	Word	Date Type	D
Register Main No.	34	Main range 0 7999 (Decimal)	

V-Net permite observar los datos de los sensores en tiempo real, proporcionando una visión actualizada del estado del sistema. Además, cuenta con un apartado para visualizar los datos históricos, lo que facilita el análisis a largo plazo de las variables monitoreadas. Los usuarios pueden configurar el intervalo de actualización de los datos, con valores que oscilan entre 1 y 9999 segundos, adaptándose a las necesidades específicas del sistema.

Este nivel de configuración y monitoreo es esencial para garantizar la supervisión constante del sistema, permitiendo realizar ajustes en tiempo real y conservar registros detallados para futuros análisis.

Figura 17 Visualización de datos V-net en tiempo real

Status	Name ▾	Value	Port	Read Address
●	Temperatura Esc. 1	15.6 °C	COM1	D 34
●	pH Esc. 1	47	COM1	D 38
●	Conductividad Esc. 1	0	COM1	D 36
●	Humedad Esc. 1	0 %	COM1	D 32

3.3.5 Datos desde V-NET hacia Firebase

Para sincronizar los datos de los sensores almacenados en V-NET Client hacia servicios externos, se dispuso de un broker intermediario que vincula dichos datos hacia la nube en la plataforma Firebase. El programa del intermediario se ejecuta desde Visual Code, emplea un protocolo de comunicación MQTT, el mismo que permitió la transferencia unidireccional de la información. Este proceso es fundamental para establecer una comunicación eficiente entre el PLC y sistemas en la nube como Firebase, y para garantizar que los datos lleguen correctamente a Google Colab. El código que se empleó en el broker MQTT se encuentra en el Anexo 2.

V-NET – MQTT BROKER

En V-Net, se configuró un script Lua que permitió conectar con el broker Mosquitto mediante su IP local (tcp://172.20.10.2:1883) y publicar los datos en el tema MQTT vnet/test. Es crucial que el tema configurado en V-Net coincida exactamente con el tema suscrito en Mosquitto para que la transmisión sea exitosa. Además, el formato del mensaje, empaquetado en JSON, asegura la compatibilidad con servicios posteriores.

Figura 18 Configuración de Lua script

Step 1: Settings Step 2: Lua Editor

Name:

Execution:

Timing:

Los datos de los sensores (temperatura, humedad, pH y conductividad) fueron leídos desde las etiquetas configuradas en V-Net, empaquetados y enviados al broker Mosquitto, donde pudieron ser validados en tiempo real mediante el comando `mosquitto_sub`. Este comando confirmó que los datos se publicaban correctamente en el tema configurado.

Figura 19 Comando Mosquitto_Sub en CMD

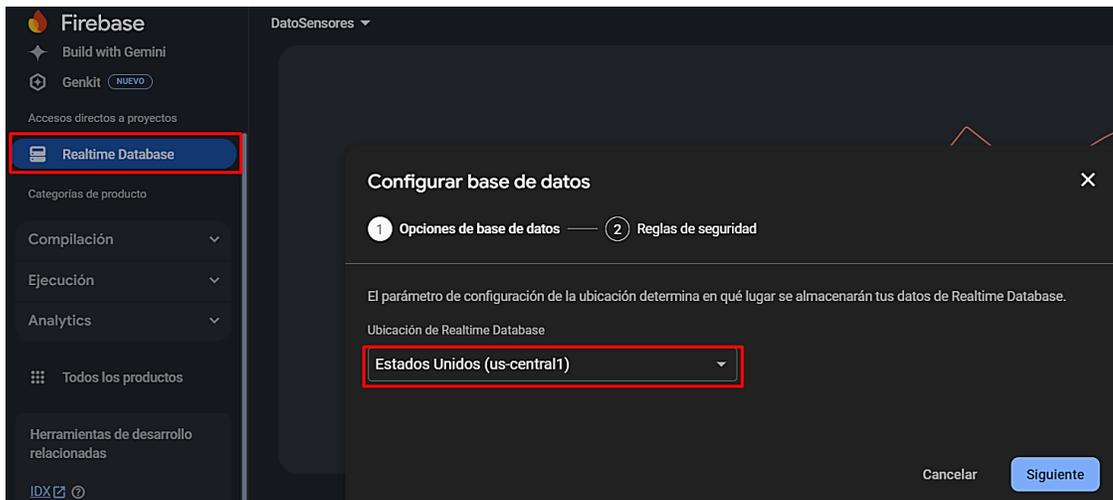
```
Microsoft Windows [Versión 10.0.26100.2033]
(c) Microsoft Corporation. Todos los derechos reservados.

C:\Program Files\mosquitto>mosquitto_sub -d -t vnet/test
Client null sending CONNECT
Client null received CONNACK (0)
Client null sending SUBSCRIBE (Mid: 1, Topic: vnet/test, QoS: 0, Options: 0x00)
Client null received SUBACK
Subscribed (mid: 1): 0
```

3.3.6 MQTT Broker - Firebase

Se integraron los datos de los sensores, enviados desde V-Net a través del broker Mosquitto, con la base de datos en la nube Firebase Realtime Database. Para esto, primero se creó un nuevo proyecto en Firebase, seleccionando la opción Realtime Database como el servicio de almacenamiento. Durante la configuración inicial de la base de datos, se eligió el servidor de Estados Unidos, por ser el más cercano y garantizar una menor latencia en la transferencia de datos.

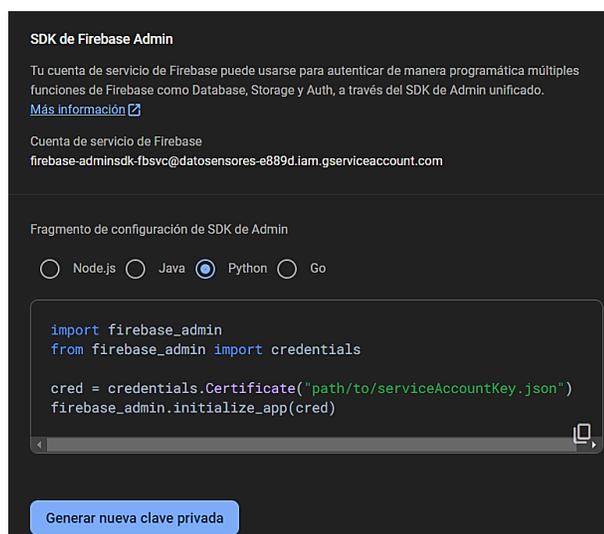
Figura 20 Realtime Database server



Una vez creada la base de datos, se configuraron las reglas de acceso, permitiendo tanto lectura como escritura sin restricciones temporales. Estas reglas son esenciales para garantizar que los datos enviados desde el script de Python puedan almacenarse sin errores. Adicionalmente, Firebase generó las credenciales necesarias para conectar el proyecto con el script.

En la configuración del proyecto, se accedió a la sección de Cuentas de servicio, donde se seleccionó el fragmento de configuración de SDK de Admin. En esta sección, se eligió el lenguaje Python y se generó una nueva clave privada en formato JSON, que contiene las credenciales requeridas para autenticar y conectar el script de Python con Firebase. Este archivo JSON fue descargado y su ruta fue incluida en el código de Python que se ejecuta en Visual Studio Code.

Figura 21 JSON para comunicación con python



El script en Python permite conectar el broker Mosquitto con Firebase. Este se ejecuta en Visual Studio Code, tras haber instalado las extensiones necesarias y las librerías requeridas (paho-mqtt y firebase-admin) mediante el terminal. En el script, la dirección IP local del broker y las credenciales JSON son configuradas adecuadamente para garantizar la comunicación. Este proceso asegura que los mensajes publicados en el tema configurado en Mosquitto sean recibidos y almacenados en Firebase en tiempo real.

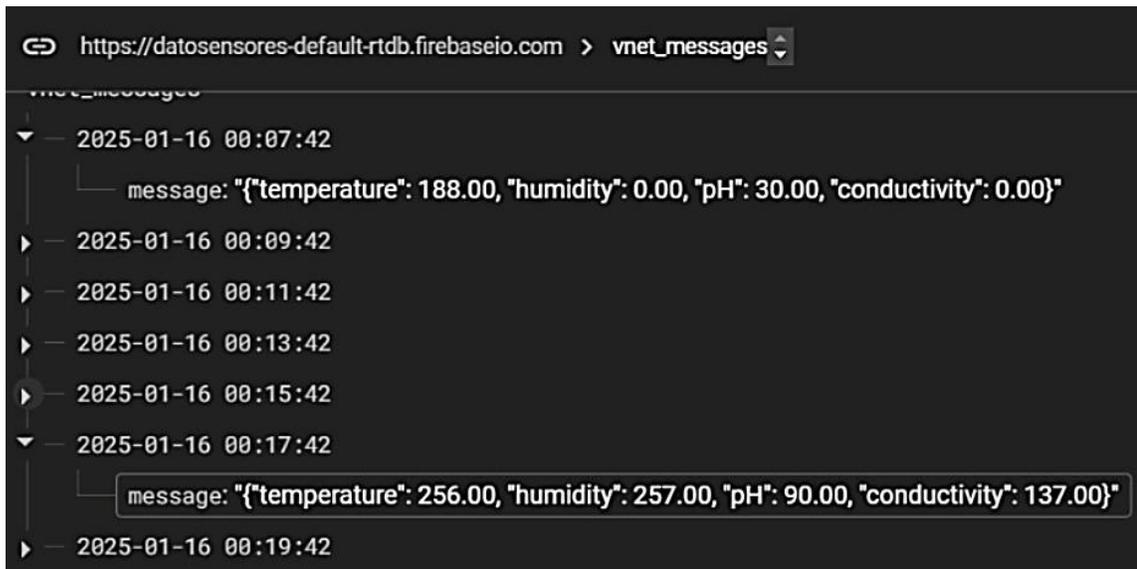
Figura 22 Recepción y envío de datos exitoso desde V-net a Firebase

```
>>
Conectado al broker. Esperando mensajes...
Mensaje recibido en vnet/test: Hola desde V-NET Client
Mensaje enviado a Firebase correctamente.

Mensaje recibido en vnet/test: {"temperature": 239.00, "humidity": 0.00}
Mensaje enviado a Firebase correctamente.
Mensaje recibido en vnet/test: {"temperature": 240.00, "humidity": 0.00}
Mensaje enviado a Firebase correctamente.
```

Los datos de los sensores se transmiten desde V-Net al broker Mosquitto y, mediante un script en Python, se envían a Firebase Realtime Database, donde quedan almacenados con una marca de tiempo.

Figura 23 Recepción de datos en Firebase.



3.3.7 Firebase – Google Colab

Para integrar los datos almacenados en **Firestore Realtime Database** con **Google Colab**, se siguieron los pasos descritos a continuación. Primero, se creó un nuevo notebook en Google Colab. Es fundamental subir el archivo .json de credenciales de Firebase previamente descargado, ya que es necesario para la autenticación.

Se configuró la conexión entre Colab y Firebase mediante el archivo de credenciales y la URL de la base de datos. Posteriormente, se implementó un listener que permite capturar los cambios en tiempo real desde Firebase. Los datos recibidos fueron organizados en un **DataFrame de Pandas** para su visualización estructurada y ordenada, permitiendo su manejo eficiente.

Los pasos principales para configurar Google Colab incluyen:

- Crear un nuevo notebook en Google Colab.
- Subir el archivo .json de credenciales de Firebase.
- Instalar las librerías necesarias para la conexión.
- Configurar la conexión con Firebase utilizando las credenciales y la URL de la base de datos.
- Implementar un listener para capturar y organizar los datos en tiempo real.

El código utilizado para estos procesos está incluido en el Anexo 3.

Los datos recopilados desde los sensores se integran en Google Colab a través de un DataFrame, organizados y listos para cualquier análisis que se requiera, permitiendo su manejo eficiente y estructurado.

Figura 24 Datos en Google Colab

	temperature	humidity	pH	conductivity	timestamp
0	188.0	0.0	30.0	0.0	2025-01-16 00:07:42
1	188.0	0.0	30.0	0.0	2025-01-16 00:09:42
2	188.0	0.0	30.0	0.0	2025-01-16 00:11:42
3	188.0	0.0	30.0	0.0	2025-01-16 00:13:42
4	188.0	0.0	30.0	0.0	2025-01-16 00:15:42
5	256.0	257.0	90.0	137.0	2025-01-16 00:17:42
6	310.0	207.0	90.0	140.0	2025-01-16 00:19:42
7	247.0	0.0	30.0	0.0	2025-01-16 00:21:42
8	221.0	0.0	30.0	0.0	2025-01-16 00:23:42
9	211.0	0.0	30.0	0.0	2025-01-16 00:25:43
10	206.0	0.0	30.0	0.0	2025-01-16 00:27:42
11	202.0	0.0	30.0	0.0	2025-01-16 00:29:42
12	200.0	0.0	30.0	0.0	2025-01-16 00:31:42
13	198.0	0.0	30.0	0.0	2025-01-16 00:33:42
14	196.0	0.0	30.0	0.0	2025-01-16 00:35:44
15	195.0	0.0	30.0	0.0	2025-01-16 00:37:42
16	194.0	0.0	30.0	0.0	2025-01-16 00:39:42
17	193.0	0.0	30.0	0.0	2025-01-16 00:41:42
18	192.0	0.0	30.0	0.0	2025-01-16 00:43:42

Capítulo 4

4. Resultados

4.1. Análisis de resultados

Tomando en cuenta el tercer objetivo específico de este trabajo de titulación, se realizaron pruebas de campo, para determinar la latencia del envío y llegada de datos a la nube, considerando que los sensores realizan una comunicación directa aplicando comunicación RS485 al PLC LX3V-0806MR y desde el autómata programable hasta la base de datos de WECON pasando por la puerta de enlace V-BOX.

Se realizaron 15 ensayos por cada prueba realizada, la prueba realizada consiste en colocar los sensores en la tierra, ambas fueron usadas para los 15 ensayos, proporcionando así diferentes tipos de resultados donde se observará los valores de Ph, Conductividad, Temperatura, Humedad y el tiempo de llegada del dato.

En la tabla 2 se observan los resultados de las pruebas realizadas con los sensores y el tiempo que demora la data en llegar a la nube V-NET Client

Tabla 2 Pruebas de tiempo de envío de datos Sensores a V-NET Client

Prueba N°	Tiempo que tarda en recibir V-NET Client
1	1.18 s
2	1.22 s
3	1.97 s
4	2.06 s
5	1.53 s
6	1.50 s
7	1.52 s
8	2 s
9	2 s
10	1.56 s

11	1.47 s
12	1.98 s
13	1.95 s
14	1.95 s
15	2.07 s

Nota. Elaborado por Romero y Ramírez (2025).

En la tabla 2 se evidencia variaciones de tiempo en el envío de la data desde la planta hacia la base de datos entre 1.18 s hasta 2.07 segundos, esto se debe por los elementos intermediarios de la arquitectura de comunicación, es decir, se debe considerar el ciclo de escaneo del PLC, la acumulación de datos en el buffering enviados hacia la puerta de enlace, la transformación de protocolos de comunicación RS485 a un protocolo versátil para el uso de VPN.

Los resultados que se muestran en la tabla 3, indican el tiempo que demora la migración de la data desde la base de datos de WECON hacia la plataforma Firebase, pasando por un servidor local, para esta prueba se realizaron envíos de datos en intervalos de actualización de 1 segundo, configurando estos tiempos en V-NET Client, consiguiendo así la gestión en la migración de la data.

Tabla 3 Pruebas de tiempo de envío de datos V-NET Client a Firebase

Prueba N°	Tiempo que tarda en recibir Firebase
1	350 ms
2	900 ms
3	300 ms
4	740 ms
5	700 ms
6	760 ms
7	290 ms
8	150 ms
9	1222 ms

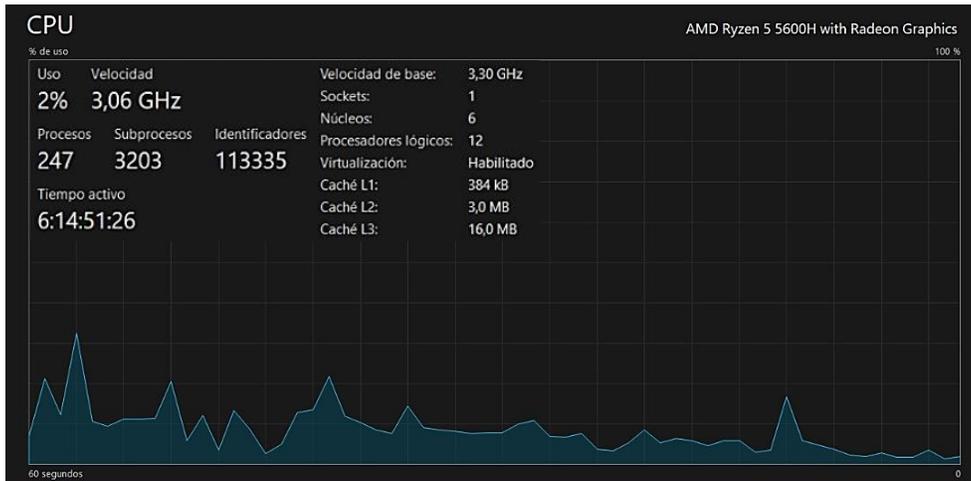
10	1000 ms
11	1000 ms
12	200 ms
13	900 ms
14	500 ms
15	200 ms

Nota. Elaborado por Romero y Ramírez (2025).

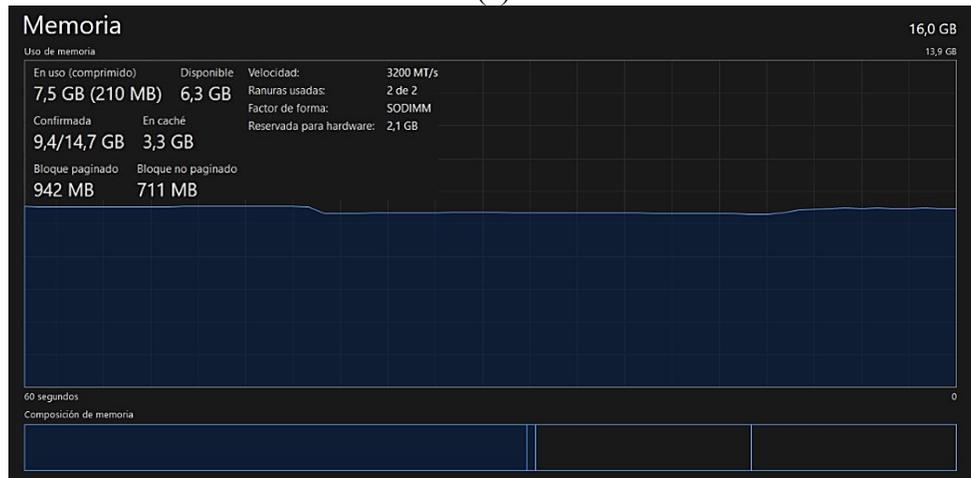
Los resultados de la tabla 3 indican que el tiempo promedio de la transmisión de la data desde la base de datos de WECON hacia Firebase fue de 614 ms. Sin embargo, se identificó como tiempo mínimo de transmisión de data de 150 ms y un tiempo máximo de 1222 ms, esto debido al intermediario servidor local como dispositivo que de cierta manera aumenta la latencia, pese a esto los resultados de esta tabla comparados con la tabla 2 indican una menor latencia promedio, esto se debe al uso de un protocolo ligero como MQTT.

Por otro lado, también se analizó el consumo que representa el intermediario bróker MQTT entre V-NET y Firebase, el cual presenta un procesador AMD Ryzen 5 de 3.3 GHz de 64 bits, 16 GB de memoria RAM y de quinta generación marca LEGION 5 15ACH6. En la figura 25a se observa el consumo del intermediario en porcentaje de CPU, en cuanto a la ejecución del programa de sincronización de las bases de datos. Es notorio que el consumo de recursos es mínimo, tanto así que la memoria RAM (ver figura 25b) se encuentra estable durante el proceso de recepción y transmisión de la data con 2.6 Gb, considerando que el manejo de mensajes está bajo QoS, con estas características del uso de recursos se puede mencionar que el intermediario se encuentra operando en niveles de consumo de energía normales.

Figura 25a y 25b Consumo de CPU y memoria RAM



(a)



(b)

Capítulo 5

5. Conclusiones

En conclusión, este proyecto implementó una arquitectura de adquisición y transmisión de datos en un entorno industrial IIoT, utilizando el protocolo de comunicación RS485 para la integración de los sensores PH-V5 con el PLC Wecon LX3V-0806MR. El PLC gestionó la recepción de los datos y los transmitió a través del puerto COM1 hacia el V-Box, utilizando un enlace serie RS485. Posteriormente, el V-Box estableció una conexión con la plataforma V-NET Client, que actuó como el sistema de gestión y monitoreo de los datos en tiempo real, permitiendo la visualización y configuración de los parámetros adquiridos. Los datos fueron procesados en V-NET Client y reenviados mediante el protocolo de mensajería MQTT a Firebase Realtime Database. Finalmente, la información almacenada en Firebase fue replicada en Google Colab para su visualización. La correcta integración de estos sistemas y protocolos permitió el desarrollo de una red de sensores con conexión industrial, almacenamiento en la nube y sincronización de almacenamiento externo.

El tiempo de transmisión de datos desde los sensores hasta V-NET Client varía entre 1,18 a 2,07 s, con un promedio de 1,73 s y una variación del 75,4%. Estas fluctuaciones se deben al ciclo de escaneo del PLC, el buffering en la puerta de enlace y la conversión de protocolos. Para optimizar la comunicación en entornos de Agricultura 4.0, es crucial minimizar la latencia mediante ajustes en el procesamiento de datos y la eficiencia en la transmisión. SIN embargo, para este caso de estudio el sistema no es crítico, en consecuencia, los resultados son favorables.

El tiempo de transmisión de datos desde V-NET Client a Firebase varió entre 150 ms y 1222 ms, con un promedio de 614 ms y con una variación porcentual elevada en los tiempos de transmisión, producto de las restricciones de la infraestructura de red de la Universidad Politécnica Salesiana. Pese a esto, la migración de la data es significativamente más rápida que la transmisión de sensores a V-NET Client, representando una reducción del 64.5% en la latencia, esto debido al uso de un protocolo de comunicación ligero como MQTT.

El análisis del consumo de recursos del intermediario bróker MQTT revela un impacto mínimo en el rendimiento del sistema. La CPU opera con un uso del 2%, y la memoria RAM se mantiene estable en 7.5 GB, con 2.6 GB asignados al proceso de sincronización de datos, es decir se usó el 16.25% de memoria. Estas métricas indican que, a pesar del manejo de mensajes bajo QoS, el

intermediario opera con un consumo energético eficiente, asegurando una transmisión de datos fluida entre V-NET y Firebase sin comprometer la estabilidad del sistema.

Capítulo 6

6. Bibliografía

- Carreño, N. E. F., & Pabon, K. A. B.-. (2022). La Agricultura y su incidencia en la Seguridad y la Soberanía Alimentaria. Una revisión. *Revista Científica Profundidad Construyendo Futuro*, 17(17), Article 17. <https://doi.org/10.22463/24221783.3833>
- Begum, M. (2022). Impact of Climate Change on Agriculture and Its Allied Sectors: An Overview. *Emerging Trends in Climate Change*, 1(1), 19-28. <https://doi.org/10.18782/2583-4770.103>
- Perspectiva | El desarrollo rural en América Latina y el Caribe | Logros, retos y perspectivas | enero 2016 | Nueva Sociedad. (s. f.). Nueva Sociedad | Democracia y política en América Latina. Recuperado 7 de octubre de 2024, de <https://nuso.org/documento/el-desarrollo-rural-en-america-latina-y-el-caribe/>
- Prajyot, R, Yesankar., Prajwal, Bandre., Prateek, Verma., Amit, G, Gudadhe., Palash, Gourshettiwar., Chetan, Puri. (2024). A Review on the Role of IoT in Smart Agriculture with Reference to Efficiency, Sustainability and Precision Farming. 533-537. doi: 10.1109/icesc60852.2024.10689999
- SmartFarmNet*. (2019). SmartFarmNet. Recuperado 8 de enero de 2025, de <http://www.smartfarmnet.com/>
- 9rios. (2024, abril 23). como es la agricultura en el ecuador: Agricultura en Ecuador: tradición, innovación y sostenibilidad. *AgriculturaWiki*. <https://agriculturawiki.com/como-es-la-agricultura-en-el-ecuador-agricultura-en-ecuador-tradicion-innovacion-y-sostenibilidad/>
- Ecuador | World Food Programme. (2024, marzo 29). <https://www.wfp.org/countries/ecuador>
- Tecnologías y aplicaciones innovadoras en la agricultura de precisión. (2021). Recuperado 7 de octubre de 2024, de <https://blog.softtek.com/es/tecnolog%C3%ADas-y-aplicaciones-innovadoras-en-la-agricultura-de-precisi%C3%B3n>

8CyT12.pdf. (2023). Recuperado 7 de octubre de 2024, de <https://www.palermo.edu/ingenieria/downloads/pdfwebc&T8/8CyT12.pdf>

HIOE1G5j7wQs311k0XTJSil4bzCWP9f907HpWhgp.pdf. (2023). Recuperado 7 de octubre de 2024, de <https://armotec.pe/storage/media/HIOE1G5j7wQs311k0XTJSil4bzCWP9f907HpWhgp.pdf>

V-BOX H SERIES—Making Better Automation to Build Your Success. (2021). Recuperado 7 de octubre de 2024, de https://www.we-con.com.cn/en/product_page/244.html

Sensor de humedad para suelo PH-V5. (2023). Todo lo que necesites en robótica de competencia. Recuperado 7 de octubre de 2024, de <https://ja-bots.com/producto/sensor-de-humedad-para-suelo-h-v10/>

Wecon PLC Editor2. Get the software safely and easily. (2023, mayo 5). Software Informer. <https://wecon-plc-editor2.software.informer.com/>

MindSphere: Sistema operativo abierto IoT de Siemens, basado en la Nube. (s. f.). [Fw_mobility-story_overview]. Siemens España. Recuperado 9 de enero de 2025, de <https://www.siemens.com/es/es/productos/software/mindsphere.html>

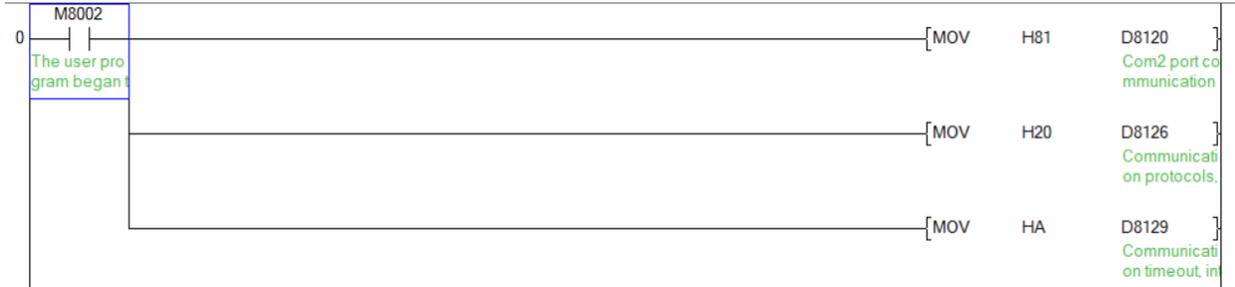
smart water meter—Hebei Shanghong Water Meters Technology Co.,Ltd. (s. f.). Recuperado 9 de enero de 2025, de <https://www.sh-meters.com/p/smart-water-meter/>

Air Quality Monitoring. Monitor in UK & Europe. Airly Data Platform and Monitors | Airly. (s. f.). Recuperado 9 de enero de 2025, de <https://airly.org/en/>

Capítulo 7

7. Anexos

Anexo 1 Comunicacion RS-485 Sensores-PLC



Nota. Elaborado por Romero y Ramírez (2025).

Anexo 2 Codigo Lua scrip para comunicaci3n Mqtt

```
import paho.mqtt.client as mqtt
import firebase_admin
from firebase_admin import credentials, db
import json
import time # Importar para manejar marcas de tiempo

# Configuraci3n de Firebase
cred = credentials.Certificate("C:/Users/rzale/Desktop/Python/datosensores
firebase-adminsdk-430fk-6751787ad1.json") # Ruta al archivo JSON de
Firebase
firebase_admin.initialize_app(cred, {
    'databaseURL': 'https://datosensores-default-rtdb.firebaseio.com/' # URL de
tu Firebase Realtime Database
})
```

```
# Callback para manejar mensajes recibidos desde MQTT
def on_message(client, userdata, msg):
    print(f'Mensaje recibido en {msg.topic}: {msg.payload.decode()}')
    try:
        # Convertir el mensaje recibido en texto plano a JSON
        data = {"message": msg.payload.decode()}

        # Obtener la marca de tiempo actual en formato legible
        timestamp = time.strftime("%Y-%m-%d %H:%M:%S", time.localtime())

        # Referencia en Firebase para guardar los datos con la marca de tiempo
        # como clave
        ref = db.reference("vnet_messages")
```

Nota. Elaborado por Romero y Ramírez (2025).

Anexo 3 Librería y códigos en Google Colab

```
import firebase_admin
from firebase_admin import credentials
from firebase_admin import db
import pandas as pd
import threading

import firebase_admin
from firebase_admin import credentials, db

# Verifica si ya hay una instancia inicializada
if not firebase_admin._apps:
    cred = credentials.Certificate('datosensores-firebase-adminsdk-430fk
6751787ad1.json')
    firebase_admin.initialize_app(cred, {
        'databaseURL': 'https://datosensores-default-rtdb.firebaseio.com/'
    })
else:
    print("Firebase ya está inicializado.")

import json
import pandas as pd
from firebase_admin import db

# Lista para almacenar los datos
lista_datos = []

# Callback para manejar cambios en Firebase
```

```

def escucha_cambios(evento):
    global lista_datos
    if evento.data: # Si hay datos nuevos
        if isinstance(evento.data, dict):
            for timestamp, valores in evento.data.items():
                datos_sensor = json.loads(valores['message'])
                datos_sensor['timestamp'] = timestamp # Agregar la marca de tiempo
                lista_datos.append(datos_sensor)
            actualizar_dataframe() # Actualiza el DataFrame sin imprimir los datos en
línea

# Actualizar el DataFrame en tiempo real
def actualizar_dataframe():
    global lista_datos
    df = pd.DataFrame(lista_datos)
    if not df.empty:
        df = df[['timestamp', 'temperature', 'humidity', 'pH', 'conductivity']]
    print(df) # Imprime solo el DataFrame

# Configurar el listener en la base de datos
ref = db.reference('vnet_messages') # Cambia 'vnet_messages' por la ruta de tu
base de datos
ref.listen(escucha_cambios)

```

Nota. Elaborado por Romero y Ramírez (2025).