



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE GUAYAQUIL
CARRERA DE INGENIERÍA EN COMPUTACIÓN**

**DISEÑO DE UNA INFRAESTRUCTURA LÓGICA PARA GESTIÓN DE DATOS EN
LA BODEGA DE QUÍMICOS QUIMASA BASADO EN INTERNET DE LAS COSAS**

Trabajo de titulación previo a la obtención del
Título de Ingeniero en Computación

AUTOR: JOSUE JEREMÍAS MISHQUI DUCHI

TUTOR: NELSON SALOMON MORA SALTOS, Msig

Guayaquil – Ecuador

2023

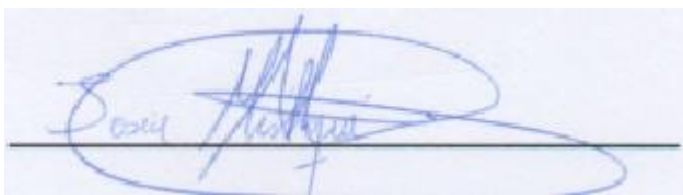
**CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN**

Yo, Josue Jeremías Mishqui Duchi con documento de identificación N° 0606538403 manifiesto que:

Soy el autor y responsable del presente trabajo; y, autorizo 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.

Guayaquil, 15 de febrero del año 2023

Atentamente,



Josue Jeremías Mishqui Duchi

0606538403

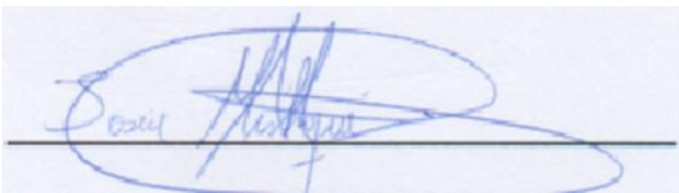
**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Yo, Josué Jeremías Mishqui Duchi con documento de identificación No. 0606538403, expreso mi voluntad y por medio del presente documento cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del Artículo Académico: “Diseño de una infraestructura lógica para gestión de datos en la bodega de químicos QUIMASA basado en Internet de las Cosas”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero en Computación, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

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

Guayaquil, 15 de febrero del año 2023

Atentamente,



Josué Jeremías Mishqui Duchi

0606538403

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Nelson Salomón Mora Saltos con documento de identificación N° 0909257800, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: DISEÑO DE UNA INFRAESTRUCTURA LÓGICA PARA GESTIÓN DE DATOS EN LA BODEGA DE QUÍMICOS QUIMASA BASADO EN INTERNET DE LAS COSAS, realizado por Josué Jeremías Mishqui Duchi con documento de identificación N° 0606538403, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Artículo Académico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 15 de febrero del año 2023

Atentamente,



Nelson Salomón Mora Saltos

0909257800

DEDICATORIA

Este artículo académico está dedicado a:

A mis padres Ángel y Olga quienes con su eterna paciencia, amor y esfuerzo me permitieron lograr una de mis grandes metas, gracias por enseñarme el ejemplo de perseverancia y valentía, de no tenerle miedo a las dificultades porque sé que Dios siempre está conmigo.

Mis hermanos Moises y Ángel por su apoyo y cariño incondicional, durante todo este camino, por estar a mi lado en todo momento. A toda mi familia porque con sus consejos, oraciones y palabras me hicieron una mejor persona y de una forma u otra me acompañaron en todas mis metas y sueños.

Finalmente, quiero dedicar este artículo académico a todos mis compañeros, por brindar apoyo incondicional en los momentos difíciles, cada día, de verdad gracias a todos.

AGRADECIMIENTO

Quisiera expresar mi más sincero agradecimiento Primeramente a Dios que me mantiene con vida y también al Ing. Nelson Salomón Mora Saltos por confiar en mí y por animarme a emprender la elaboración de este artículo académico.

A veces hay factores que se interponen en el camino de un proyecto, pero sin su apoyo y asesoramiento incondicional esto no sería posible.

Agradecido también a mis padres que siempre han estado cuando los he necesitado, en los buenos y en los malos momentos, el logro también es de ellos.

Finalmente, expreso mi más sincero agradecimiento a todos aquellos que me han animado en este largo camino y que han demostrado su paciencia y comprensión con la extrema constancia y dedicación necesarias para la realización de un artículo académico.

Muchas gracias a todos

RESUMEN

Este trabajo de investigación es importante porque pretende ser una alternativa como modelo de infraestructura en monitoreo y reporte basado en IoT para identificación, trazabilidad o seguimiento del estado con respecto a los productos químicos con un enfoque en el almacenamiento, transporte y visualización de los datos sin intervención humana. El objetivo general de este documento es diseñar una infraestructura lógica para gestión de datos con el fin de minimizar riesgos de contaminación ambiental en la bodega de químicos QUIMASA basado en Internet de las Cosas. Los objetivos específicos son: Analizar infraestructuras de Internet de las Cosas para conocer modelos de diferentes áreas mediante una revisión sistemática de la literatura, Diseñar una infraestructura lógica formado por sensores, red y aplicaciones para la captura, envío, almacenamiento y análisis de los datos generados en la bodega de químicos QUIMASA basado en tecnología Internet de las Cosas, y Realizar una simulación de un caso de estudio sobre la infraestructura lógica de IoT en la bodega de QUIMASA para minimizar los riesgos de contaminación ambiental mediante un análisis financiero y técnico. En la revisión sistemática de literatura se obtienen 21 estudios para la exploración-explicación de las respuestas a las preguntas de investigación; en las respuestas sobre IoT se conoció los dispositivos utilizados, los elementos de comunicación utilizados, los componentes de almacenamiento-procesamiento en la nube y los riesgos ambientales que pueden evitar las arquitecturas IoT revisadas en las referencias. La infraestructura lógica está de acuerdo a las características es útil en la bodega de químicos QUIMASA, el modelo está distribuido en cuatro niveles: Sensores, Red, Nube y Aplicación; el costo del proyecto IoT tiene un costo de 1778.30 dólares americanos, esto hace alcanzable la instalación de acuerdo a revisión preliminar de la gerencia de la empresa.

Palabras claves: Internet de las Cosas, Industria Química, Infraestructura lógica de datos, Riesgo ambiental.

ABSTRACT

This research work is important because it aims to be an alternative as an infrastructure model in monitoring and reporting based on IoT for identification, traceability or monitoring of the status with respect to chemicals with a focus on the storage, transport and visualization of data without human intervention. The general objective of this document is to design a logical infrastructure model for data management in order to minimize risks of environmental contamination in the QUIMASA chemical warehouse based on the Internet of Things. The specific objectives are: Analyze Internet of Things infrastructures to know models of different areas through a systematic review of the literature, Design a logical infrastructure model formed by sensors, network and applications for the capture, sending, storage and analysis of the data generated in the QUIMASA chemical warehouse based on Internet of Things technology, and Perform a simulation of a case study on the IoT logic infrastructure in the QUIMASA warehouse to minimize the risks of environmental pollution through a financial and technical analysis. In the systematic literature review, 21 studies are obtained for the exploration-explanation of the answers to the research questions; IoT responses learned about the devices used, the communication elements used, the cloud storage-processing components, and the environmental risks that can be avoided by the IoT architectures reviewed in the references. The logical infrastructure is according to the characteristics is useful in the chemical warehouse QUIMASA, the model is distributed in four levels: Sensors, Network, Cloud and Application; the cost of the IoT project has a cost of 1778.30 US dollars, this makes the installation achievable according to preliminary review of the company's management.

Key words: Internet of Things, Chemical Industry, Logical Data Infrastructure, Environmental Risk.

ÍNDICE DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	10
2. REVISIÓN DE LITERATURA	13
2.1. Internet of Things	13
2.2. IoT en empresas	13
2.3. IoT en la Industria Química	16
3. METODOLOGÍA	18
4. RESULTADOS.....	20
4.1. Análisis de infraestructuras de Internet de las Cosas para conocer modelos de diferentes áreas mediante una revisión sistemática de la literatura.....	20
4.2. Diseño de infraestructura lógica formado por sensores, red y aplicaciones para la captura, envío, almacenamiento y análisis de los datos generados en la bodega de químicos QUIMASA basado en tecnología Internet de las Cosas.	24
4.3. Simulación de un caso de estudio sobre la infraestructura lógica de IoT en la bodega de QUIMASA para minimizar los riesgos de contaminación ambiental mediante un análisis financiero y técnico.	26
5. DISCUSIÓN	30
6. CONCLUSIÓN.....	31
REFERENCIAS	32

1. INTRODUCCIÓN

Internet de las Cosas (IoT) es una innovación de las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC), el concepto sugiere conexión de objetos que están integrados a Internet; una infraestructura general de IoT contiene datos, dispositivos de captura, procesamiento y comunicaciones para establecer redes complementarias y dinámicas; el conjunto de dispositivos inteligentes, como etiquetas de radio frecuencia, sensores, actuadores, teléfonos inteligentes, controles programables, dispositivos portátiles, entre otros, están en continua interconexión para recolectar y difundir los datos; los datos son recolectados, transmitidos, almacenados, procesados y analizados para comprender los diferentes escenarios o entornos, además existen nuevas áreas que utilizan IoT (Siddiqui et al., 2022).

IoT ofrece una característica que es el seguimiento interno que una empresa puede realizar a su producción mediante sensores o actuadores; la trazabilidad interna en las diferentes procesos para medir calidad y rendimiento, los sensores pueden relacionarse con actuadores para controlar los límites o generar alarmas en cada proceso; en las industrias existen procesos como calefacción, peso, refrigeración, ventilación, entre otros que utilizan redes IoT, los datos son recolectados y enviados a plataformas en la nube, para ser compartidos a supervisores u otros actores (Gonzalez-Amarillo et al., 2018). La tecnología IoT plantea estar conectado a Internet de forma permanente e inalámbrica, el seguimiento de procesos o actividades o cualquier escenario son expuestos en IoT, aquí los sensores o actuadores deben funcionar bien, ser robustos y eficientes (Damis et al., 2018).

De acuerdo a (Swamy & Kota, 2020) se estima que para el año 2025 sean 75 billones de dispositivos conectados, crecimiento de 6 billones de dólares americanos, 80 zettabytes de datos generados y 12 dispositivos por persona.

IoT se utiliza en dominios como: deportes, ocio, monitoreo, infraestructura estratégica, fabricas, salud, ciudades inteligentes (Siddiqui et al., 2022), agricultura (Gonzalez-Amarillo et al., 2018), tráfico, monitoreo del tiempo (Damis et al., 2018), gestión de agua, agricultura, industria, residencias, exploración de petróleo (Ismail et al., 2022), monitoreo de energía, agua, automatización de industrias, monitoreo de medio ambiente, ventas minoritarias (Swamy & Kota, 2020).

Las arquitecturas o modelos IoT contienen: sensores, actuadores, puntos de acceso, router, servidores para almacenamiento en la nube, programas de procesamiento en la nube, aplicaciones informáticas para presentar los datos o indicadores resumen, entre otros (Siddiqui et al., 2022).

En el ámbito industrial, QUIMASA es una empresa que produce-comercializa-formula-distribuye materias químicas para el sector productivo de la República del Ecuador, además que se encarga del almacenamiento y logística de los productos para negocios agrícolas, alimentario, industrial y plásticos, al momento realizar una observación en la empresa, esta no cuenta con tecnología que tome los datos durante el proceso de producción de los productos químicos (Quimasa, 2022).

Las TIC tiene alta penetración en redes y su mejora en conectividad, seguridad, servicio del ancho de banda y el procesamiento de datos, las infraestructuras IoT permiten las comunicaciones entre objeto-objeto y persona-objeto a través de sensores, actuadores y microcontroladores (Pal et al., 2021).

Como justificación de este documento, es necesario tener información del entorno y relacionadas a estado-espacio de los procesos manuales o automáticos sobre productos químicos, algunos datos como temperatura, tiempo, humedad, ventilación y otros sistemas son monitoreados en forma manual; es posible hacer uso eficiente de la energía, aplicar trazabilidad a los productos químicos, programar actividades o alertar sobre límites, una plataforma IoT puede presentar información sobre indicadores de peso, calidad o procesos mediante interfaces de sistemas informáticos (Gonzalez-Amarillo et al., 2018).

Los entornos IoT requieren diferentes tipos de sensores y algoritmos para capturar datos diferentes en las industrias o empresas, es necesario revisar otros modelos de gestión basados en IoT para explorar o conocer las oportunidades no aprovechadas en la empresa QUIMASA. La aplicación IoT en la empresa debe ser una arquitectura confiable, escalable, segura en captura de datos y eficiente en consumo de energía, sin embargo se consideran que son un desafío.

Los productos químicos tienen riesgos que son inflamables, inestables, toxicidad, daño al medio ambiente y sensibles a cambios de temperatura, además entre los químicos existe una clasificación de peligrosidad como comburentes, corrosivos, explosivos, inflamables, nocivos

y tóxicos, estos productos son organizados para su recepción, almacenamiento y transporte mediante normas de seguridad física y medidas preventivas.

Este trabajo de investigación es importante porque pretende ser una alternativa como modelo de infraestructura en monitoreo y reporte basado en IoT para identificación, trazabilidad o seguimiento del estado con respecto a los productos químicos con un enfoque en el almacenamiento, transporte y visualización de los datos sin intervención humana.

El objetivo general de este documento es: Diseñar una infraestructura lógica para gestión de datos con el fin de minimizar riesgos de contaminación ambiental en la bodega de químicos QUIMASA basado en Internet de las Cosas.

Los objetivos específicos son:

Analizar infraestructuras de Internet de las Cosas para conocer modelos de diferentes áreas mediante una revisión sistemática de la literatura.

Diseñar una infraestructura lógica formado por sensores, red y aplicaciones para la captura, envío, almacenamiento y análisis de los datos generados en la bodega de químicos QUIMASA basado en tecnología Internet de las Cosas.

Realizar una simulación de un caso de estudio sobre la infraestructura lógica de IoT en la bodega de QUIMASA para minimizar los riesgos de contaminación ambiental mediante un análisis financiero y técnico.

Este documento está estructurado como sigue: En la sección II revisión de literatura se explica los conceptos de IoT, IoT en empresas e IoT en industria química. La sección III se describe la metodología para desarrollar los objetivos específicos. En la Sección IV se detalla las respuestas a las preguntas de investigación, se detalla y se grafica la propuesta de la infraestructura lógica basada en IoT para QUIMASA, y se describe el caso de estudio para la bodega. En la Sección V se describen las discusiones sobre la investigación obtenida. Las conclusiones son escritas en la Sección VI.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Internet of Things

IoT es una “red de cosas interconectadas con Internet”, las cosas son dispositivos o sensores que están interconectados con actuadores o sistemas de automatización para realizar actividades sin manipulación o intervención de personas; los sistemas que contienen sensores y actuadores se conocen como “sistemas inteligentes”; una característica de IoT es interactuar-intercambiar los datos, la red IoT ayuda en la toma de decisiones sobre procesos en ejecución para optimizar las actividades, además los dispositivos IoT son cableados o inalámbricos (Oruganti et al., 2020).

IoT es una cadena de dispositivos inter conectados a Internet que obtienen y envían datos a través de una malla de comunicación sin injerencia de las personas, los datos se recopilan a través de sensores alámbricos o inalámbricos, generalmente IoT captura medidas y se envían hacia la nube para sean almacenadas, procesadas y analizadas. Algunos componentes de IoT son: sensores, actuadores, dispositivos de medición, tecnologías de comunicación como: Bluetooth, LoWPAN, WiFi, ZigBee, Nube para almacenamiento, dispositivos para fuentes de energía (Ismail et al., 2022).

2.2. IoT en empresas

En (Gonzalez-Amarillo et al., 2018) los autores presentan una arquitectura para trazabilidad de invernadero que ayuda en el mantenimiento de la plantación agrícola durante las fases de germinación y crecimiento; se considera que el seguimiento es aplicable a productos frescos, buena calidad y buen valor comercial, IoT permite obtener valores de humedad, luminosidad, temperatura y consumo de agua, además revela patrones de evolución de las plantas y fases de cosecha de productos; el sistema gestiona el entorno del invernadero a través un procesos de riego o control de temperatura; la trazabilidad de los productos inicia con la semilla y finaliza con el producto final; utilizan sensores, actuadores y raspberry, como software MongoDB, NodeJs, Phyton .

En (Ismail et al., 2022) los autores revisaron proyectos sobre la gestión del agua en instalaciones industriales para monitorear y controlar la calidad del agua; otros trabajos realizan el monitoreo de aguas residuales generadas por las industrias mediante sensores y miden la densidad, turbidez, temperatura y acidez, esto se logra en línea y obtener información, los sensores se

conectan por Zigbee o WiFi a la red IoT; otros proyectos controlan la calidad del agua en aguas costeras, lagos, ríos o fuentes de transición; otros proyectos utilizan Inteligencia Artificial para predicciones de la calidad del agua; otros proyectos utilizaron medidores inalámbricos o sensores de nivel/flujo para envío de datos a la nube, integración con aplicaciones web o móviles.

En (Manjakkal et al., 2021) se propone una arquitectura para seguimiento en la calidad del agua que mide los niveles de oxígeno, fosfato, amonio, hierro, magnesio, zinc y otros minerales; la arquitectura utiliza sensores de temperatura, oxígeno, presión, ph y otros; está formada por capas de recolección de energía, sensores-actuadores, nube, análisis de datos; el proyecto es pensado para seguimiento de agua en el mar.

En (He et al., 2020) los autores presentan un sensor flexible con películas de polímeros metalizados para ser utilizados en medio ambiente; las pruebas se aplicaron para detectar el nivel de iones de sulfato en tomas de agua, midieron el nivel, la sensibilidad y tiempo de consulta, además entre los dispositivos utilizaron un analizador, un Arduino y multiplexor, en la nube utilizaron un servidor y sistemas de información.

En (Pal et al., 2021) se plantea utilizar IoT en un framework para automatización en la gestión y despacho de energía eléctrica, y manejar en forma eficiente la energía; en el proyecto utilizan sensores, actuadores, raspberry, controladores programables; la IoT sirve para conocer la generación, consumo, transacción y utilidad con respecto a la energía.

En (Crocioni et al., 2020) se presentan nuevas baterías recargables de iones de litio para aumentar la vida útil por sus características químicas y aprovechar la energía eléctrica; este tipo de batería se utiliza en dispositivos autónomos IoT para el área de salud en pacientes móviles y maximizar el almacenamiento y abastecimiento de energía; en este trabajo utiliza algoritmos de Inteligencia Artificial para pronosticar la capacidad de las baterías.

En (Bhutta & Ahmad, 2021) presentan un framework conceptual para productos de cultivos desde la cosecha, procesamiento, transporte y entrega; los alimentos se descomponen durante la cadena de suministro, el framework pretende la identificación y trazabilidad de los productos basado en IoT con sensores inalámbricos y radiofrecuencia; entre los datos recolectados están identificación de productos, identificación de personas, datos del entorno de los productos.

En (Odongo et al., 2022) se propone monitorear una red de distribución de energía eléctrica mediante sensores, red eléctrica y análisis de datos, las baterías de los sensores son recargables; la arquitectura utiliza protocolos LoRaWAN y MQTT, en hardware utilizan microcontroladores Arduino, detectores de gas, agua, incendio, radiación, sensores ópticos, cargadores de energía solar; la arquitectura se aplicó a una red heredada con restricciones de presupuestos.

El esquema propuesto por (Said et al., 2020), minimiza la cantidad de datos, el consumo de energía y minimiza la tolerancia a fallos; la simulación mide la tasa promedio de consumo de energía, cantidad de nodos con errores, eficiencia, y vida útil de la red, además el esquema utiliza sensores y radiofrecuencia.

La arquitectura general de (Abubakar et al., 2022) propone combinar IoT con Blockchain en un modelo de tres capas llamadas Dispositivos, blockchain baja y blockchain alta; la arquitectura se plantea para cualquier área como salud, distribución u hogar. IoT la utilizan para recolectar los datos mediante los sensores y Blockchain lo utilizan para guardar en forma segura cifrada la información en la nube.

En (Alsaedi, Moustafa, Tari, Mahmood, & Anwar, 2020) se propone una arquitectura IoT para la industria en capas dispositivos físicos, virtualización y nube; los sensores, router y puntos de acceso se encuentran en la misma capa dispositivos, en la virtualización están los procesos y almacenamiento; en la nube se utiliza los protocolos MQTT y DHCP, ver figura 1.



Figura 1. Arquitectura general IoT

El documento de (Bouzidi et al., 2022) presenta varias arquitecturas o framework sobre IoT en varios dominios o áreas, se presentan arquitecturas en varias capas, protocolos adoptados como MQTT, CoAP, 6LoWPAN, IEEE; en la capa dispositivos utilizan sensores inalámbricos, en la capa nube utilizan servicios de terceras empresas para el almacenamiento y procesamiento; además el documento presenta sistemas de ataques.

2.3. IoT en la Industria Química

En (Lele & Lihua, 2018) se utiliza IoT para “gestión de parques industriales químicos”, la arquitectónica se compone de dispositivos IoT, radio frecuencia y sensores, procesos en la nube, el sistema realiza el seguimiento de los productos químicos y otros productos peligrosos; los datos se utilizan para valorar los factores de seguridad, generar alertas, seguimiento por posicionamiento, aumentar la vigilancia en línea, y minimizar posibles accidentes.

En (Addabbo et al., 2018) se presenta un modelo IoT para el seguimiento de emisiones químicas, se compone de sensores de humedad, sensor de temperatura, sensor de gases electroquímicos para la detectar monóxido de carbono, óxido de nitrógeno y oxígeno, utiliza protocolos LoRa y LPWAN, el modelo tiene capacidad para captar datos en 3 km.

El modelo IoT de (Srinivas, 2018) detecta fugas de gases nocivos causados por productos químicos, el modelo realiza seguimiento de gases y envía alertas, el modelo se compone de microcontrolador central, sensores de temperatura, butano, monóxido de carbono y alcohol, además puede detectar gases múltiples, las alertas se activan si los sensores superan los niveles normales de gases; los datos son almacenados y analizados en la nube.

El seguimiento de en industrias químicas de (Wang et al., 2018) propone una arquitectura se compone en tres capas: percepción, red y aplicación; los componentes son sensores de humedad, temperatura, humo y gas, además tiene controladores de fuego y alarmas, sistema de información, modelos en 3D, control remoto, los datos los presenta en aplicaciones web o desktop.

En (Kim et al., 2018) se propone un modelo de gestión de la seguridad para suprimir los accidentes mediante la semi automatización con sensores IoT, sistema de gestión y alarmas que realice el seguimiento en la manipulación de productos químicos; los sensores utilizados son fuego, gas, radio frecuencia, además utiliza servicios de terceros para la gestión.

En (Richnák & Čambalíková, 2021) realizaron una encuesta a 44 empresas de la industria química en Eslovaquia para conocer el impacto de industria 4.0 sobre este tipo de industria, el 64% muestran interés en la digitalización, el 32% tienen interés parcial en la digitalización, y 4% de las empresas no les interesa el tema de la digitalización en la empresa.

En (Bellini et al., 2022) se describe una arquitectura para control en plantas química mediante IoT, big data y tecnologías de nube; la arquitectura contiene sensores, actuadores, microcontroladores, redes, aplicaciones móviles, aplicaciones web, se puede aplicar a varias industrias y se administran desde la nube.

3. METODOLOGÍA

Para analizar infraestructuras de Internet de las Cosas se utiliza el método de la Revisión Sistemática de la Literatura RSL (Siddiqui et al., 2022) ayuda a seleccionar y eliminar referencias e investigaciones recientes, los hallazgos se esquematizan mediante la evaluación de estudios determinados y responder preguntas; se realiza una revisión exhaustiva de modelos en gestión de IoT publicados en conferencias o revistas.



Figura 2. Fases de la RSL.

a) Preguntas de Investigación:

¿Qué dispositivos se utilizan para capturar datos en IoT?

¿Qué se utiliza para comunicación de datos en IoT?

¿Qué componentes se utiliza para almacenar y procesar los datos en la nube?

¿Qué riesgos ambientales pueden evitan las arquitecturas basadas en IoT?

b) Selección de fuentes: Se consideran las librerías digitales IEEE, ACM y Springer.

Las demás fases c) Selección de estudios y d) Ejecución de la revisión, se realizan durante la investigación y desarrollo del artículo académico.

Para diseñar una infraestructura lógica formado por sensores, red y aplicaciones basado en tecnología Internet de las Cosas. Se propone diseñar un modelo o arquitectura de cuatro o cinco capas, luego detallar de manera escrita cada capa y examinar la relación entre el dispositivo IoT, los dispositivos de comunicación, los componentes de la cloud computing, los protocolos y sistemas informáticas, aplicar estándares de comunicación y protocolos. Se describe la función de cada dispositivo o componente de la infraestructura IoT. Se presenta el gráfico del modelo o arquitectura IoT mediante diagramas de bloques y UML, además presentar los

componentes en el gráfico. Entre los datos que se pueden capturar están: temperatura, humedad, luz ambiental, identificación de químicos, cantidad de personas en la bodega, movimiento de personas, peso de productos, calidad del aire, ruta del transporte.

Para realizar una simulación de un caso de estudio sobre la infraestructura lógica de IoT en la bodega de QUIMASA. Se propone aplicar la infraestructura lógica como simulación de un caso de estudio en la bodega de la empresa QUIMASA para minimizar los riesgos de contaminación al ambiente, con presentación de los componentes en hardware y software en cantidades y precios, además de los recursos como personal técnico y honorarios profesionales para la implementación de la arquitectura; la cantidad de componentes y otros recursos es de acuerdo a las instalaciones físicas de la empresa.

4. RESULTADOS

Los resultados son las respuestas a los objetivos específicos que se plantean en la introducción, y se ejecutaron de acuerdo a la metodología expresada en este mismo documento.

4.1. Análisis de infraestructuras de Internet de las Cosas para conocer modelos de diferentes áreas mediante una revisión sistemática de la literatura.

Para analizar infraestructuras de Internet de las Cosas se utiliza el método de la Revisión Sistemática de la Literatura RSL (Siddiqui et al., 2022), la revisión sistemática se desarrolla en las siguientes fases: a) Preguntas de investigación, b) Selección de fuentes, c) Selección de estudios y d) Ejecución de la revisión

Fase a) Preguntas de Investigación: Se plantean 3 preguntas a continuación

¿Qué dispositivos se utilizan para capturar datos en IoT?

¿Qué se utiliza para comunicación de datos en IoT?

¿Qué componentes se utiliza para almacenar y procesar los datos en la nube?

¿Qué riesgos ambientales pueden evitan las arquitecturas basadas en IoT?

Fase b) Selección de fuentes: Se consideran las librerías digitales IEEE, ACM y Springer que son bases de datos apropiadas para Ciencias de la Computación, además la Universidad Politécnica Salesiana entrega acceso a estas librerías, contienen estudios primarios suficientes para contestar las preguntas de investigación; en cuanto a los criterios de selección en las librerías se considera la disponibilidad de los estudios primarios y una búsqueda a través de palabras clave y filtros; las cadena de búsqueda son “Internet of Thing chemistry”, “Internet of Thing chemical”, “IoT chemistry”, “IoT chemical”.

Fase c) Selección de estudios: Los criterios de inclusión para los estudios primarios son: El documentos está en inglés, el documento trata sobre dominio IoT, el documento describe el modelo/arquitectura, es una revista científica, es un congreso, documentos desde año 2018. Los criterios de exclusión son: Es una disertación, es documento editoriales, es un documento cartel, es un documento blogs. Además, se realiza otra verificación en el contenido del documento: ¿El documento seleccionado contesta las preguntas de investigación?, ¿El documento describe en detalle el modelo o arquitectura?

Fase d) Ejecución de la revisión: La selección de documentos esta entre enero 2018 y diciembre 2022, en la primera búsqueda se obtuvo 101 documentos de acuerdo a las palabras claves y año de filtrado; en una primera fase se aplica los criterios de inclusión-exclusión en los títulos y palabras claves y se descartan 31 documentos; en una segunda fase se ejecutan los procedimientos de selección de acuerdo a los criterios de inclusión-exclusión y se revisan los resúmenes, se seleccionan los documentos que presentan modelos-arquitecturas en IoT, se descartan 28 documentos; en una tercera fase se descartan 21 estudios porque no cumplen con la descripción detallada de los modelos o arquitecturas IoT; en la fase final quedan 21 estudios para la exploración-explicación de las respuestas a las preguntas de investigación, ver tabla 1.

Tabla 1. Estudios seleccionados

Librería Digital	Estudios primarios
IEEE	(Gonzalez-Amarillo et al., 2018), (Manjakkal et al., 2021), (Damis et al., 2018), (Ismail et al., 2022), (Siddiqui et al., 2022), (Swamy & Kota, 2020), (He et al., 2020), (Oruganti et al., 2020), (Pal et al., 2021), (Bhutta & Ahmad, 2021), (Odongo et al., 2022), (Said et al., 2020)
ACM	(Abubakar et al., 2022), (Alsaedi, Moustafa, Tari, Mahmood, & Adna N Anwar, 2020), (Bouzidi et al., 2022), (Lele & Lihua, 2018), (Addabbo et al., 2018), (Bellini et al., 2022), (Kim et al., 2018), (Wang et al., 2018), (Srinivas, 2018)
Springer	(Bellini et al., 2022), (Kim et al., 2018), (Wang et al., 2018), (Srinivas, 2018)
Total	21

Fuente: Autoría propia.

En base a los 21 estudios primarios se responden las preguntas de investigación:

Pregunta 1: ¿Qué dispositivos se utilizan para capturar datos en IoT? De acuerdo a los estudios primarios, se encontraron sensores, actuadores y microcontroladores que están distribuidos de la siguiente manera: en 21 estudios se utilizan sensores, en 10 estudios se utilizan actuadores y en 13 estudios se utilizan microcontroladores, esto suma 44 puntos, y se determina el porcentaje de participación de cada dispositivo dividiendo la utilización para los 44 puntos; es decir el 48% de los estudios utiliza sensores, el 23% utiliza actuadores y 29% utiliza microcontroladores; todas las arquitecturas utilizan sensores, no todas las arquitecturas utilizan actuadores o microcontroladores, ver figura 3.

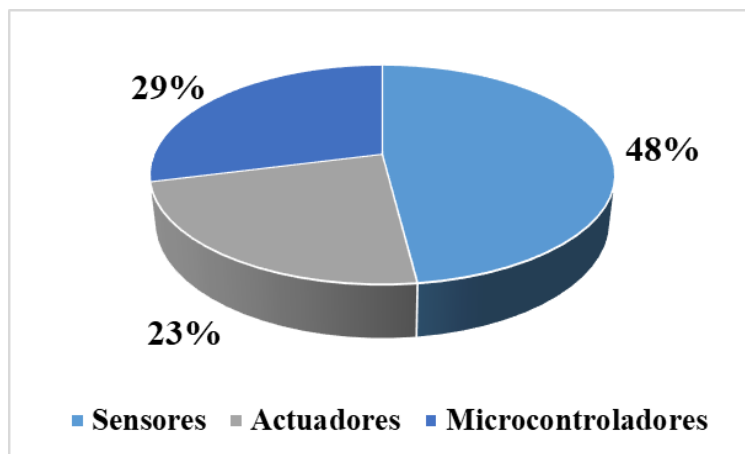


Figura 3. Dispositivos para capturar datos

Entre los sensores utilizados en las referencias están: radio frecuencia, infrarrojos, sensor de temperatura, sensor de humedad, cámaras, sensores electroquímicos, sensor de gas, sensor de radiación, alarmas, protección contra incendio, equipos de control, controladores programables, rfid.

Pregunta 2: ¿Qué se utiliza para comunicación de datos en IoT?

De acuerdo a los estudios primarios, se encontraron protocolos, estándares y dispositivos que están distribuidos de la siguiente manera: en 14 estudios se utilizan protocolos para comunicación, en 12 estudios se utilizan productos estándares para comunicación y en 15 estudios se utilizan dispositivos para comunicación, esto suma 41 puntos, y se determina el porcentaje de participación de cada elemento dividiendo la utilización para los 41 puntos; es decir el 35% de los estudios utiliza protocolos, el 29% utiliza productos estándares y 36% utiliza dispositivos para comunicación; cada elemento utiliza alrededor del 30% en comunicación. En dispositivos de comunicación utilizados en las arquitecturas están: redes 4G, redes inalámbricas, redes alámbricas, canales especiales, puntos de acceso, arduino, módulos wifi, redes gubernamentales, redes privadas, gateway, dispositivos de canales, switch, concentradores. En protocolos utilizados en las referencias están: TCP/IP, HTTP, HTTPS, CoAp, AMPQP, MQTT, zigbee, LoRa, Ethernet, IEEE 802. En estándares nos referimos a modelos sencillos o generales que fueron descritos en las referencias. Ver figura 4.

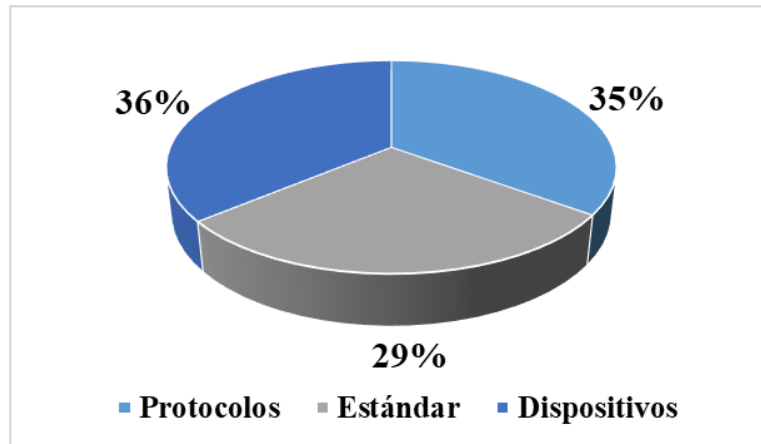


Figura 4. Comunicación de datos

Pregunta 3: ¿Qué componentes se utiliza almacenar y procesar los datos en la nube?

De acuerdo a los estudios primarios, para almacenar y procesar los datos se encontraron servidores, bases de datos, sistemas y procesos de análisis que están distribuidos de la siguiente manera: en 18 estudios se utilizan servidores, en 14 estudios se utilizan bases de datos, en 17 estudios se utilizan sistemas informáticos y en 12 estudios se utilizan procesos de análisis, esto suma 61 puntos, y se determina el porcentaje de participación de cada elemento dividiendo la utilización para los 61 puntos; es decir el 30% de los estudios utiliza servidores para almacenar-procesar, el 23% utiliza bases de datos para almacenar, el 28% utiliza sistemas informáticos para procesar, y 19% utiliza procesos de análisis, ver figura 5.

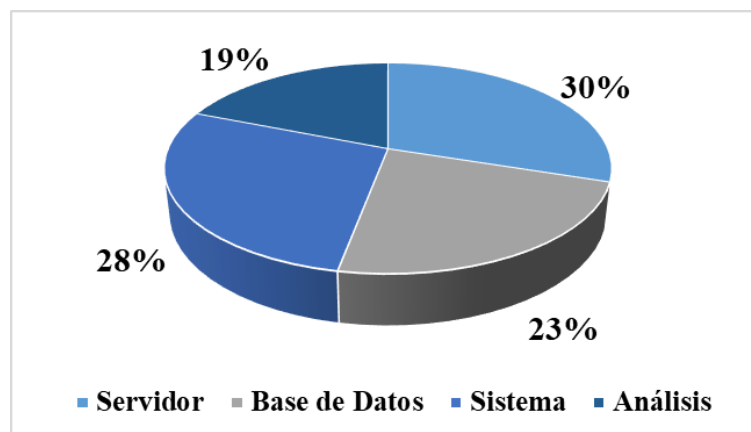


Figura 5. Almacenamiento-procesamiento en la nube

Pregunta 4: ¿Qué riesgos ambientales pueden evitan las arquitecturas basadas en IoT?

De acuerdo a los estudios primarios, las arquitecturas IoT pueden evitar algunos riesgos ambientales distribuidos de la siguiente manera: la contaminación de suelo se evita en 11

estudios, la toxicidad se evita en 11 estudios, la contaminación de aire se evita en 10 estudios, la contaminación de agua se evita en 9 estudios, el efecto invernadero se evita en 6 estudios, la contaminación de fauna se evita en 3 estudios, y la contaminación de flora se evita en 2 estudios, esto suma 52 puntos, y se determina el porcentaje de participación de cada elemento dividiendo la suma de cada riesgo para los 52 puntos; es decir los riesgos ambientales se evitan en: contaminación de suelo 21%, toxicidad 21%, contaminación de aire 19%, contaminación de agua 17%, efecto invernadero 12%, contaminación de fauna 6%, contaminación de flora 4%, ver figura 6.

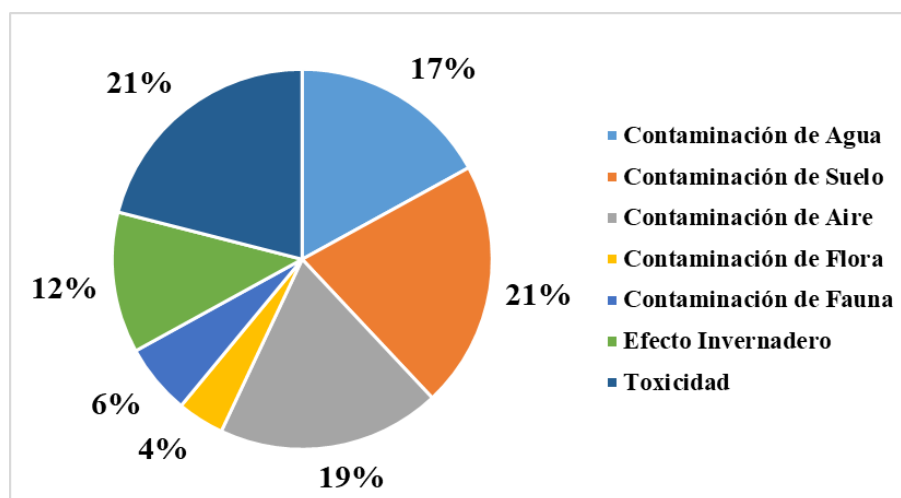


Figura 6. Riesgos ambientales evitados

4.2. Diseño de infraestructura lógica formado por sensores, red y aplicaciones para la captura, envío, almacenamiento y análisis de los datos generados en la bodega de químicos QUIMASA basado en tecnología Internet de las Cosas.

Se propone un modelo de infraestructura lógica de acuerdo a las características de la bodega de químicos QUIMASA y basado en información obtenida de la revisión sistemática, el modelo está distribuido en cuatro niveles: Sensores, Red, Nube, Aplicación, ver figura 7.

Nivel Sensores: Esta capa es el inicio de los datos en el ecosistema IoT que está instalado en la bodega de productos químicos, aquí se encuentran los dispositivos heterogéneos como sensores o actuadores que captan los datos en tiempo real; los sensores captan los datos del entorno dentro de la bodega y luego transmiten a través de la capa de red; pueden utilizarse dispositivos heterogéneos como: medidores inteligentes, sensor de temperatura, sensor de humedad, etiquetas de radio frecuencia RFID. La capa de sensores claramente es un conjunto de objetos,

estos objetos son el nexo entre el entorno físico y el entorno digital; aquí se capturan los datos del entorno mediante sensores y se pueden realizar acciones mediante actuadores.

Nivel Red: Esta capa se realiza el transporte y enrutamiento de los datos capturados en la capa sensores, es decir se transmiten los datos desde los sensores hacia los procesos de información ubicados en un servidor público o privado, la red utiliza 3G, 4G, 5G, LTE, Wi-Fi, u otros, para transportar los datos de los dispositivos heterogéneos. Contiene gateways protocolos, (IPv4 o IPv6), router, switch. El protocolo puede encontrarse en un Gateway, el protocolo IPv4-IPv6 puede encontrarse en los dispositivos (sensores actuadores). Los dispositivos se conectan para pasar los datos hacia internet, se debe tener en cuenta otros factores como consumo de energía, calidad de servicio y la adaptación a otras topologías.

Nivel Cloud Computing: En la nube están ubicadas las unidades de procesamiento para micro-macro procesos, bases de datos, el sistema operativo, La gestión de servicios para administrar las aplicaciones desarrolladas como: servicios de análisis de datos, servicio de supervisión de sensores-actuadores, servicios de gestión de dispositivos, servicio de publicación de datos, servicios de agregación de datos. La gestión de usuarios para administrar los usuarios, roles, accesos y actividades La gestión de dispositivos para autenticar los dispositivos y configurar los dispositivos. Además, se supervisan las transacciones del ecosistema IoT y existen procesos para analizar-monitorear-evaluar el ecosistema IoT.

Nivel Aplicación: Contiene aplicaciones de alto nivel que interactúan entre dispositivos o con personas en forma confiable; existen procesos de datos, servicios para usuarios, servicios para programas, servicios de accesos, servicios de consultas, servicios de actualizaciones a la base de datos; los datos convertidos en información a través de las aplicaciones sirven para la toma de decisiones; se generan aplicaciones específicas para los usuarios.

Se propone utilizar la infraestructura Amazon Web Service (Bouzidi et al., 2022) que es una “plataforma de computación en la nube” con altas características como disponibilidad, escalabilidad y fiabilidad, contiene herramientas de variados tipos de aplicaciones, tiene buenas políticas de seguridad. La infraestructura está protegida en la nube de AWS, mientras que el cliente tiene la responsabilidad de subir sus datos, gestionar usuarios, registrar el uso de protocolos de seguridad. AWS da seguridad en la arquitectura de red, puntos de acceso, transmisión de datos, tolerancia a fallos y supervisión; además se puede utilizar HTTP, SSL o red privada.

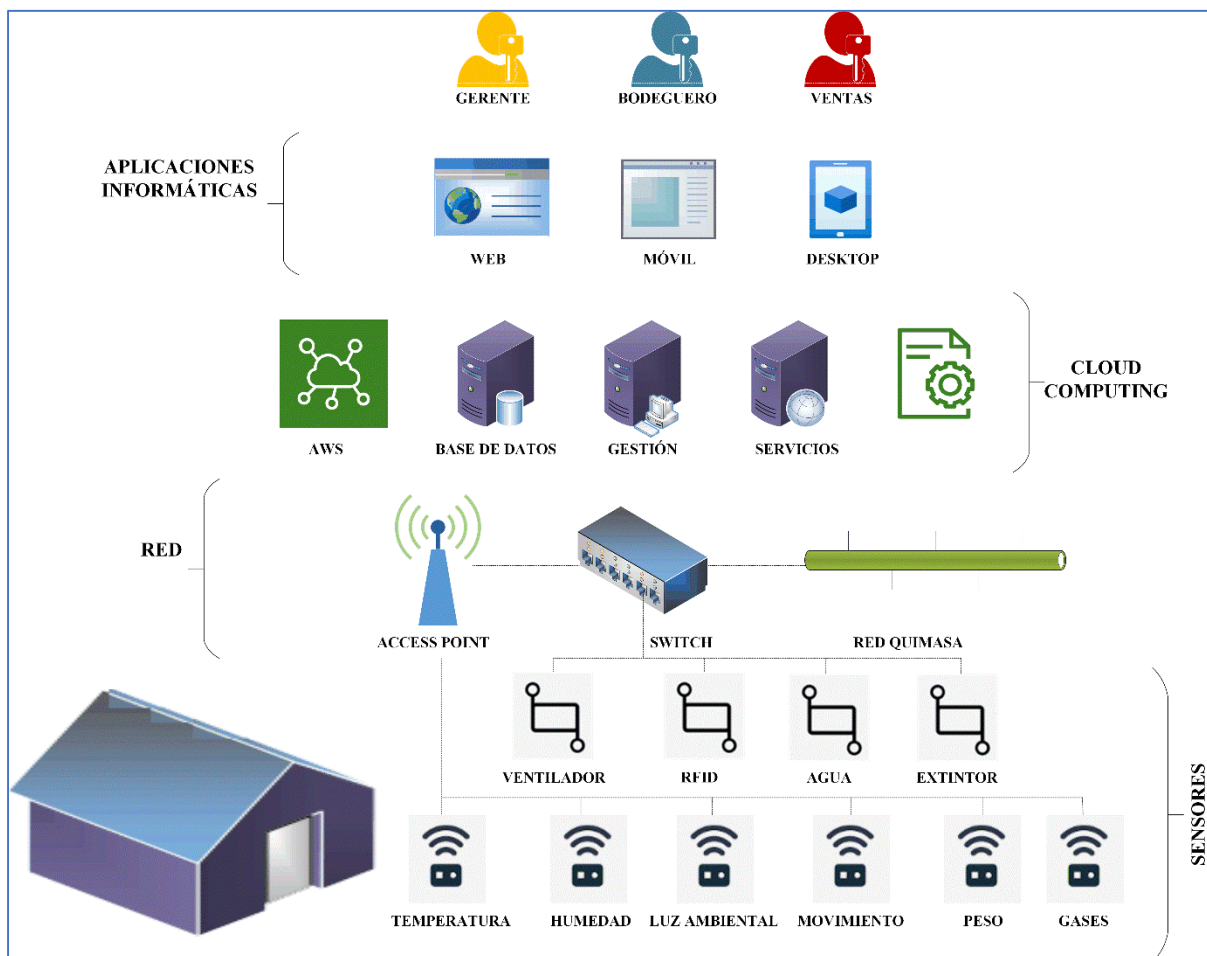


Figura 7. Infraestructura lógica basado en IoT

Para minimizar costo de software, la plataforma debe utilizar software libre basado en Linux, el sistema operativo sea Ubuntu Server (Ubuntu, 2022) y la plataforma de software Xampp (Xampp, 2022) que contiene lenguaje PHP, base de datos MariaDB y servidor de internet Server Apache.

4.3. Simulación de un caso de estudio sobre la infraestructura lógica de IoT en la bodega de QUIMASA para minimizar los riesgos de contaminación ambiental mediante un análisis financiero y técnico.

En una primera fase se obtiene los datos en la bodega a través de los sensores para monitoreo y registro para almacenar y procesar los datos, luego estos datos pueden activar los actuadores de acuerdo a los parámetros de las variables; esta data detallada o procesada se comparte en las

aplicaciones web o móvil o desktop; las variables se miden por medio de los controladores y estas variables están vinculados con las aplicaciones informáticas. Las aplicaciones informáticas se distribuyen en identificación, acceso a los datos, consultas, presentación de indicadores, presentación de históricos, presentación de promedios, presentación de bitácoras de actuadores. Entre los datos que se pueden capturar están: temperatura, humedad, luz ambiental, identificación de químicos, cantidad de personas en la bodega, movimiento de personas, peso de productos, calidad del aire y ruta del transporte.

La figura 8 y figura 9 muestran las instalaciones interiores en la bodega de químicos en QUIMASA que tiene 96 metros de largo, 30 metros de ancho y 12 metros de alto, es decir tiene una capacidad de almacenamiento de 28000 metros cúbicos.



Figura 8. Bodega QUIMISA.



Figura 9. Bodega QUIMISA

Se consideran los siguientes dispositivos: Sensor de humedad del aire captura los datos de cantidad de vapor de agua en el aire, si ocurre variación de temperatura en la bodega también cambia la humedad; el cambio en la temperatura genera acciones en los actuadores del sistema de calefacción (deshumidificación), el sistema de riego (microaspersores) y el sistema de ventiladores. Sensor de temperatura puede estar integrado al sensor de humedad del aire explicado anteriormente, es importante por el uso de químicos que no deben pasar de 65 grados, si en caso que baje la temperatura puede activarse la calefacción; es decir datos de los sensores de temperatura pueden hacer que los programas activen los actuadores para subir o bajar la temperatura-humedad de acuerdo a los parámetros establecidos en las aplicaciones informáticas. Sensor de luminosidad captura la variación en la resistencia de acuerdo a la cantidad de luz dentro de la bodega de químicos, el sensor reporta un voltaje que mide el

aumento o disminución en un entorno. Radio frecuencia (RFID) es un sistema con un lector, una antena y etiqueta electrónica, las etiquetas son únicas para aumentar la seguridad; se utiliza en los bultos o pallet de químicos a la entrada de la bodega, la antena envía la señal de radiofrecuencia, y el lector realiza lectura-escritura en las etiquetas, el sistema de frecuencia puede ser fijo o portátil.

En una segunda fase se presentan los valores monetarios de la propuesta en la tabla 2, en tres segmentos: valores de hardware, software y mano de obra técnica en la bodega de químicos en QUIMASA. El costo del proyecto IoT tiene un costo de 1778.30 dólares americanos, esto hace alcanzable la instalación de acuerdo a revisión preliminar de la gerencia de la empresa, se estima que el tiempo de instalación es 2 meses.

Tabla 2. Propuesta financiera

Elementos	Cantidad	Precio Unitario	Subtotal
Hardware			
Sensor de temperatura	1	2.25	2.25
Sensor de humedad	1	2.25	2.25
Sensor de luz ambiental	1	2.50	2.50
Sensor gases	1	2.75	2.75
Sensor de movimiento de personas	1	2.59	2.59
Sensor de peso de productos	1	10.50	10.50
Sensor de calidad del aire	1	5.30	5.30
Arduino wifi	7	8.51	59.57
Actuador para agua	1	12.45	12.45
Actuador para extintor	1	12.45	12.45
Actuador para ventilador	1	12.45	12.45
Sistema RFID: Rollo Etiquetas RFID	1	-	-
Sistema RFID: Antena	1	-	-
Sistema RFID: Lector	1	255.00	255.00
Access Point	1	25.00	25.00
Switch 8 puertos	1	16.00	16.00
Software			
Amazon Web Service	12 meses	69.77	837.24
Ubuntu Server (Licencia Libre)	1	0.00	0.00
Server Apache (Licencia Libre)	1	0.00	0.00
Base de datos MariaDB (Licencia Libre)	1	0.00	0.00
PHP (Licencia Libre)	1	0.00	0.00
Técnicos			
Instalación de hardware	1	250.00	250.00
Instalación de software	1	150.00	150.00
Mantenimiento	12 meses	10	120.00
Costo total			1778.30

Fuente: Realizado por autor.

Los usuarios finales de la información de este modelo son el gerente general, el bodeguero y los vendedores; el gerente puede tener información sobre cantidades totales de inventarios e índices actualizados; el bodeguero puede tener información sobre cantidades detalladas, movimientos de los químicos, estado actual de los parámetros ambientales de la bodega,

configuración de los parámetros mínimos-máximos en la bodega; los vendedores pueden tener información para que estén al tanto del inventario.

La gestión de datos inicia en la captura de los datos en el nivel sensores, los datos fluyen por la red en forma inalámbrica a la red de QUIMASA, y se envían a la nube en Amazon WebService para su almacenamiento en la base de datos MariaDB y procesamiento; de acuerdo a los parámetros mínimos o máximos en la bodega se pueden activar los actuadores de agua o extintor o ventilador; las aplicaciones informática muestran los indicadores y avisan con alarmas visuales y audios al bodeguero y gerente.

5. DISCUSIÓN

Entre los 21 estudios primarios, aplican IoT en diferentes dominios: el 29% (6 estudios) se utiliza en la industria química, el 20% (4 estudios) se utiliza en la industria general, el 14% (3 estudios) se utiliza en áreas generales, otro 14% (3 estudios) se utiliza en energía, otro 14% (3 estudios) se utiliza en agua y 9% (2 estudios) se utiliza en agricultura, ver figura 10.

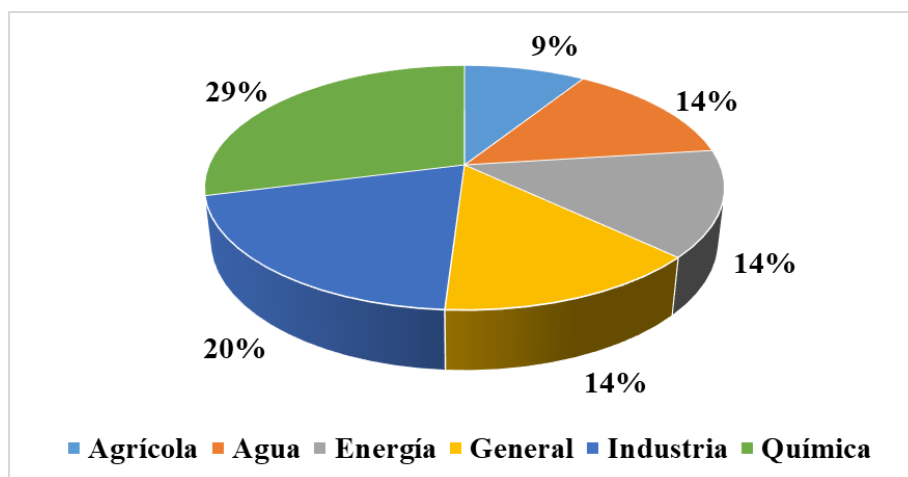


Figura 10. IoT en diferentes dominios.

Queda pendiente la seguridad de la arquitectura en fases como: la seguridad en dispositivos durante las transferencias en la red que minimicen al atacante; la seguridad en la comunicación que proteja los datos de extremo a extremo entre los dispositivos; la seguridad en los Servicios para proteger las aplicaciones y datos que generan esas aplicaciones, además de accesos o actualizaciones no autorizados. De acuerdo a las referencias, la red y las aplicaciones informáticas en un ecosistema IoT son vulnerables a diversos ataques de seguridad física y cibernética.

La infraestructura lógica se enfoca en la captura de datos, entrega de datos, preprocesamiento de datos, confirmación de algoritmos, entrega de gráficos, diagramas interactivos de datos, guardado de datos, gestión de comunicación mediante de Internet.

La plataforma puede dar seguimiento al estado ambiental de la bodega en tiempo real, un control en movimiento de elementos químicos o materiales peligrosos, entrega recursos de información concernientes a bodegas de almacenamiento, y tener una gestión en la empresa que este atenta a los movimientos y estado de los productos mediante la tecnología en un modelo conceptual, esto mejora la gestión, también evita posibles accidentes, aumenta la seguridad industrial, y sirve para toma de decisiones a los responsables de la bodega.

6. CONCLUSIÓN

La infraestructura lógica toma los datos de la bodega de químicos en tiempo real sobre la base de la tecnología IoT, se presenta en cuatro niveles para integrar los datos del ambiente y mostrarlos mediante aplicaciones informáticas; la gestión de la información se mantiene a lo largo de la infraestructura para que los responsables puedan tomar decisiones oportunas.

El nivel de información de la bodega QUIMASA es escalable, confiable, oportuna para mantener los productos químicos en buen estado y aumentar la seguridad física de los trabajadores; aprovechar la información es un proceso extenso de aprendizaje perpetuo

El caso de estudio entrega una idea financiera y técnica para el ritmo de informatización y planeación en el desarrollo de la infraestructura. IoT está en revolución de la industria para digitalización y automatización de la información mediante sensores y redes que gestionan los datos en forma independiente de los humanos.

REFERENCIAS

- Abubakar, M., Jarocheh, Z., Al-Dubai, A., & Liu, X. (2022). A Survey on the Integration of Blockchain and IoT: Challenges and Opportunities. *Advanced Sciences and Technologies for Security Applications*, 9, 197–221. https://doi.org/10.1007/978-3-031-04424-3_11
- Addabbo, T., Fort, A., Mugnaini, M., Parri, L., Parrino, S., Pozzebon, A., & Vignoli, V. (2018). An IoT Framework for the Pervasive Monitoring of Chemical Emissions in Industrial Plants. *Workshop on Metrology for Industry 4.0 and IoT, MetroInd 4.0 and IoT 2018 - Proceedings*, 269–273. <https://doi.org/10.1109/METROI4.2018.8428325>
- Alsaedi, A., Moustafa, N., Tari, Z., Mahmood, A., & Adna N Anwar. (2020). TON-IoT telemetry dataset: A new generation dataset of IoT and IIoT for data-driven intrusion detection systems. *IEEE Access*, 8, 165130–165150. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3022862>
- Alsaedi, A., Moustafa, N., Tari, Z., Mahmood, A., & Anwar, A. (2020). TON_IoT Telemetry Dataset: A New Generation Dataset of IoT and IIoT for Data-Driven Intrusion Detection Systems. *IEEE Access*, 8, 165130–165150. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3022862>
- Bellini, P., Cenni, D., Mitolo, N., Nesi, P., Pantaleo, G., & Soderi, M. (2022). High level control of chemical plant by industry 4.0 solutions. *Journal of Industrial Information Integration*, 26, 100276. <https://doi.org/10.1016/j.jii.2021.100276>
- Bhutta, M. N. M., & Ahmad, M. (2021). Secure Identification, Traceability and Real-Time Tracking of Agricultural Food Supply During Transportation Using Internet of Things. *IEEE Access*, 9, 65660–65675. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3076373>
- Bouzidi, M., Gupta, N., Cheikh, F. A., Shalaginov, A., & Derawi, M. (2022). A Novel Architectural Framework on IoT Ecosystem, Security Aspects and Mechanisms: A Comprehensive Survey. *IEEE Access*, 10(September), 101362–101384. <https://doi.org/10.1109/access.2022.3207472>
- Crocioni, G., Pau, D., Delorme, J. M., & Gruosso, G. (2020). Li-Ion Batteries Parameter Estimation with Tiny Neural Networks Embedded on Intelligent IoT Microcontrollers. *IEEE Access*, 8, 122135–122146. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3007046>
- Damis, H. A., Khalid, N., Mirzavand, R., Chung, H. J., & Mousavi, P. (2018). Investigation of Epidermal Loop Antennas for Biotelemetry IoT Applications. *IEEE Access*, 6, 15806–15815. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2018.2814005>
- Gonzalez-Amarillo, C. A., Corrales-Munoz, J. C., Mendoza-Moreno, M. A., Gonzalez Amarillo, A. M., Hussein, A. F., Arunkumar, N., & Ramirez-Gonzalez, G. (2018). An IoT-Based traceability system for greenhouse seedling crops. *IEEE Access*, 6, 67528–67535. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2018.2877293>
- He, S., Feng, S., Nag, A., Afsarimanesh, N., E Alahi, M. E., Li, S., Mukhopadhyay, S. C., & Wong, J. W. C. (2020). IoT-based laser-inscribed sensors for detection of sulfate in water bodies. *IEEE Access*, 228879–228890. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3046656>
- Ismail, S., Dawoud, D. W., Ismail, N., Marsh, R., & Alshami, A. S. (2022). IoT-Based Water Management Systems: Survey and Future Research Direction. *IEEE Access*, 10, 35942–35952. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3163742>
- Kim, H., Lee, E., Kwon, D., & Ju, H. (2018). Chemical laboratory safety management service using IoT sensors and open APIs. *Proceedings of KICS-IEEE International Conference on Information and Communications with Samsung LTE and 5G Special Workshop, ICIC 2017*, 262–263. <https://doi.org/10.1109/INFOC.2017.8001670>
- Lele, Q., & Lihua, K. (2018). Technical framework design of safety production information management platform for chemical industrial parks based on cloud computing and the internet of things. *International Journal of Grid and Distributed Computing*, 9(6), 299–314. <https://doi.org/10.14257/ijgdc.2016.9.6.28>
- Manjakkal, L., Mitra, S., Petillot, Y. R., Shutler, J., Scott, E. M., Willander, M., & Dahiya, R. (2021). Connected Sensors, Innovative Sensor Deployment, and Intelligent Data Analysis for Online Water Quality Monitoring. *IEEE Internet of Things Journal*, 8(18), 13805–13824. <https://doi.org/10.1109/JIOT.2021.3081772>

- Odongo, G. Y., Musabe, R., Hanyurwimfura, D., & Bakari, A. D. (2022). An Efficient LoRa-Enabled Smart Fault Detection and Monitoring Platform for the Power Distribution System Using Self-Powered IoT Devices. *IEEE Access*, 10(June), 73403–73420. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3189002>
- Oruganti, S. K., Khosla, A., & Thundat, T. G. (2020). Wireless power-data transmission for industrial internet of things: Simulations and experiments. *IEEE Access*, 8, 187965–187974. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3030658>
- Pal, P., Parvathy, A. K., Devabalaji, K. R., Antony, S. J., Ocheme, S., Babu, T. S., Alhelou, H. H., & Yuvaraj, T. (2021). IoT-Based Real Time Energy Management of Virtual Power Plant Using PLC for Transactive Energy Framework. *IEEE Access*, 9, 97643–97660. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3093111>
- Quimasa. (2022). *Quimasa*. <https://www.quimasa.com/empresa/>
- Richnák, P., & Čambalíková, A. (2021). Using Industry 4.0 concept in Slovak chemical industry. *International Scientific Journal "Industry 4.0,"* 109(3), 106–109.
- Said, O., Al-Makhadmeh, Z., & Tolba, A. (2020). EMS: An Energy Management Scheme for Green IoT Environments. *IEEE Access*, 8, 44983–44998. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2976641>
- Siddiqui, S., Hameed, S., Shah, S. A., Ahmad, I., Aneiba, A., Draheim, D., & Dustdar, S. (2022). Toward Software-Defined Networking-Based IoT Frameworks: A Systematic Literature Review, Taxonomy, Open Challenges and Prospects. *IEEE Access*, 10(June), 70850–70901. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3188311>
- Srinivas, C. (2018). Toxic Gas Detection and Monitoring. *International Journal of Civil Engineering and Technology (IJCIET)*, 8(12), 614–622.
- Swamy, S. N., & Kota, S. R. (2020). An empirical study on system level aspects of Internet of Things (IoT). *IEEE Access*, 8, 188082–188134. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3029847>
- Ubuntu. (2022). *Ubuntu Server*. <https://ubuntu.com/download/server>
- Wang, H., Zou, H., Wu, W., Guan, G., He, Q., Leng, B., & Hu, Y. (2018). The research of chemical plant monitoring base on the internet of things and 3D visualization technology. *IEEE International Conference on Information and Automation, August*, 860–864. <https://doi.org/10.1109/ICInfA.2013.6720414>
- Xampp. (2022). *Xampp Server Apache*. https://www.apachefriends.org/es/download_success.html