



Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Universidad del Perú. Decana de América

Facultad de Ingeniería Electrónica y Eléctrica

Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica

**Diseño e implementación de un sistema RFID para el
control de activos en tiempo real de bajo costo de un
alojamiento vacacional temporal en el distrito de San
Miguel**

TESIS

Para optar el Título Profesional de Ingeniera Electrónica

AUTOR

Gabriela Isabel ARENAS PEZZUTTI

ASESOR

Dr. Nicanor Raul BENITES SARA VIA

Lima, Perú

2025



Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual - Sin restricciones adicionales

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Usted puede distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir del documento original de modo no comercial, siempre y cuando se dé crédito al autor del documento y se licencien las nuevas creaciones bajo las mismas condiciones. No se permite aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros a hacer cualquier cosa que permita esta licencia.

Referencia bibliográfica

Arenas, G. (2025). *Diseño e implementación de un sistema RFID para el control de activos en tiempo real de bajo costo de un alojamiento vacacional temporal en el distrito de San Miguel*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Ingeniería Electrónica y Eléctrica, Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica]. Repositorio institucional Cybertesis UNMSM.

Metadatos complementarios

Datos de autor	
Nombres y apellidos	Gabriela Isabel Arenas Pezzutti
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	47410878
URL de ORCID	https://orcid.org/0009-0007-2216-4080
Datos de asesor	
Nombres y apellidos	Nicanor Raúl Benites Saravia
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	10189914
URL de ORCID	https://orcid.org/0000-0002-3245-6470
Datos del jurado	
Presidente del jurado	
Nombres y apellidos	Celso Ysidro Gerónimo Huamán
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	09191500
Miembro del jurado 1	
Nombres y apellidos	Williams Fernando Acosta Solorzano
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	06434186
Miembro del jurado 2	
Nombres y apellidos	Ángel Orlando Sumoso Huamán
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	06842634
Datos de investigación	
Línea de investigación	C.0.9.34 Sistemas de localización, Sistemas de telemetría y telecontrol, Sistemas de seguridad y videovigilancia.
Grupo de investigación	No Aplica

Agencia de financiamiento	No Aplica
Ubicación geográfica de la investigación	Edificio: Chicama País: Perú Departamento: Lima Provincia: Lima Distrito: San Miguel Urbanización: Maranga Etapa 2 Calle: Micaela Bastidas 499 Latitud: -12.077715 Longitud: -77.104207
Año o rango de años en que se realizó la investigación	Setiembre 2024 – Junio 2025
URL de disciplinas OCDE	Ingeniería eléctrica, Ingeniería Electrónica https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.02.01 Ingeniería de sistemas y comunicaciones https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.02.04



UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS
(Universidad del Perú, DECANA DE AMÉRICA)
FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y ELÉCTRICA
Teléfono 619-7000 Anexo 4226
Calle Germán Amezaga 375 – Lima 1 – Perú



ACTA DE SUSTENTACIÓN

TESIS

ACTA N°30/FIEE-CTGT/2025

Los suscritos Miembros del Jurado, docentes permanentes de las Escuelas Profesionales de la Facultad de Ingeniería Electrónica y Eléctrica, reunidos en la fecha 25 de setiembre del 2025, como presidente de Jurado el **DR. CELSO YSIDRO GERÓNIMO HUAMÁN**, integrado por el Miembro de Jurado el **DR. WILLIAMS FERNANDO ACOSTA SOLORZANO**, el Miembro de Jurado **ING. ANGEL ORLANDO SUMOSO HUAMAN** y Miembro Asesor el **DR. NICANOR RAUL BENITES SARAVIA**.

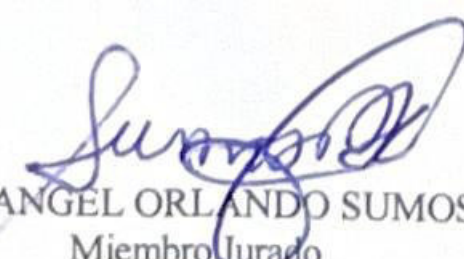
Después de escuchar la Sustentación Presencial de la Tesis de la Bachiller **GABRIELA ISABEL ARENAS PEZZUTTI** con código 10190054 que para optar el Título Profesional de Ingeniera Electrónica sustentó la Tesis titulada **DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA RFID PARA EL CONTROL DE ACTIVOS EN TIEMPO REAL DE BAJO COSTO DE UN ALOJAMIENTO VACACIONAL TEMPORAL EN EL DISTRITO DE SAN MIGUEL**.

El jurado examinador procedió a formular las preguntas reglamentarias y, luego de una deliberación en privado, decidió otorgarle el calificativo de 15 (QUINCE).

Ciudad Universitaria, 25 de setiembre del 2025


DR. CELSO YSIDRO GERÓNIMO HUAMÁN
Presidente Jurado


DR. WILLIAMS FERNANDO ACOSTA SOLORZANO
Miembro Jurado


ING. ANGEL ORLANDO SUMOSO HUAMAN
Miembro Jurado


DR. NICANOR RAUL BENITES SARAVIA
Miembro Asesor



UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE
SAN MARCOS
Universidad del Perú, Decana de América

CERTIFICADO DE SIMILITUD

Yo , **NICANOR RAUL BENITES SARA VIA** en mi condición de asesor acreditado con el Dictamen N°05/FIEE-CTGT/2025 de la Tesis titulada **DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA RFID PARA EL CONTROL DE ACTIVOS EN TIEMPO REAL DE BAJO COSTO DE UN ALOJAMIENTO VACACIONAL TEMPORAL EN EL DISTRITO DE SAN MIGUEL.**, presentado por la bachiller GABRIELA ISABEL ARENAS PEZZUTTI, para optar al título profesional de Ingeniera Electrónica. CERTIFICO que se ha cumplido con lo establecido en la Directiva de Originalidad y de Similitud de Trabajos Académicos, de Investigación y Producción Intelectual. Según la revisión, análisis y evaluación mediante la plataforma PIDS, el documento evaluado cuenta con el 10% de similitud, nivel PERMITIDO para continuar con los trámites correspondientes y para su publicación en el repositorio institucional.

Se emite el presente certificado en cumplimiento de lo establecido en las normas vigentes, como uno de los requisitos para la obtención del título de Ingeniera Electrónica.

Lima, 25 de Setiembre del 2025

Firma del Asesor

DNI: 10189914

Nombres y apellidos del asesor:

NICANOR RAUL BENITES SARA VIA

DEDICATORIA

A Hilda y Coperno, mis padres, que siempre me han apoyado a lo largo de toda mi vida, que, con su incondicional y genuino amor, me enseñaron y educaron lo mejor que pudieron. A ellos toda mi gratitud y esfuerzo.

AGRADECIMIENTOS

Primero Dios, por guiarme en este recorrido que es la vida y a mi familia por todo el apoyo genuino, sincero e incondicional. A Diego, Melissa, Carlos, Harold, Xavier por guiarme, motivarme y apoyarme. A mi asesor Raúl Benites por haberme dado la oportunidad de trabajar en este proyecto, y finalmente a mi alma máter, la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, por brindarme experiencias, retos y lecciones valiosas que serán parte de mí en todo momento y que me sirven para lograr nuevos retos innovadores en mi vida profesional.

RESUMEN

El presente trabajo de tesis tiene por objetivo el diseño e implementación de un sistema RFID para el control de activos en tiempo real de bajo costo de un alojamiento vacacional temporal en el distrito de San Miguel, para ello hemos dividido en 4 fases: análisis, diseño, implementación y validación.

Se inició el trabajo realizando una búsqueda y análisis de las tecnologías actuales para localización de interiores, en el que se justifica el uso de la tecnología RFID apoyado en la información de diferentes autores de artículos y libros para el objeto de estudio y pruebas: alojamiento vacacional temporal.

Para realizar el diseño se hace un levantamiento de información relacionada con el espacio de trabajo, debido a que se tiene que dimensionar el número de antenas y etiquetas a utilizar y hacer ajustes en las mediciones. En cuanto a la implementación, se plantea el uso un módem RFID 2.4G para la lectura e identificación de 6 etiquetas, y para su correcta visualización en tiempo real se dispondrá de un sistema IoT que recopila toda la información en la nube, lo que permitirá el acceso remoto para un correcto monitoreo.

La característica de este proyecto es una solución de bajo costo, y mediante pruebas de validación se espera comprobar la eficacia y viabilidad para que sea una solución que ayude a mejorar el control de activos en las empresas.

Palabras Clave: RFID, Internet of Things, Active 2.4G, tags, indoor localization.

ABSTRACT

The objective of this thesis is the design and implementation of an RFID system for low-cost real-time asset control of a temporary vacation accommodation in the San Miguel district.

Following the Applied Research methodology designed with the purpose of solving a specific problem. The work began by carrying out a search and analysis of current technologies for indoor location, of which RFID stands out due to its degree of identification of assets in small to intermediate interior spaces.

To carry out the design, information related to the work space is collected, because the number of antennas and labels to be used must be sized and adjustments made in the measurements. Regarding the implementation, the use of a 2.4G RFID modem is proposed for the reading and identification of 6 tags, for their correct visualization in real time there will be an IoT system that collects all the information in the cloud, which will allow access remote for proper monitoring.

The characteristic of this project is a low-cost solution, and through validation tests it is expected to verify the effectiveness and viability so that it is a solution that helps improve asset control in companies.

Keywords: RFID, Internet of Things, Active 2.4G, Tags, indoor localization.

INDICE GENERAL

RESUMEN	iv
ABSTRACT	v
INDICE GENERAL.....	vi
LISTA DE FIGURAS	ix
LISTA DE TABLAS	xi
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN.....	1
I.1. Planteamiento Del Problema	1
I.1.1. Problema General	4
I.1.2. Problemas Específicos	4
I.2. Objetivos.....	5
I.2.1. Objetivo General.....	5
I.2.2. Objetivos Específicos	5
I.3. Justificación de la Investigación	6
I.4. Limitaciones de la Investigación	7
I.4.1. Inversión Económica	7
I.4.2. Materiales Utilizados.....	7
CAPÍTULO II: REVISIÓN DE LITERATURA.....	8
II.1. Marco Teórico.....	8
II.2. Antecedentes.....	8
II.2.1. Antecedentes Internacionales	8
II.2.2. Antecedentes Nacionales	10
II.3. Base Teórica Del RFID.....	13
II.3.1. La Radiofrecuencia y el Espectro Electromagnético	13
II.3.2. Tecnología RFID	22
II.4. Base Teórica de la Localización	44
II.4.1. RSSI	44
II.4.2. Sistemas de Localización:	45

CAPÍTULO III: HIPÓTESIS Y VARIABLES	46
III.1. Hipótesis General	46
III.2. Hipótesis Específicas.....	46
III.3. Operacionalización de Las Variables.....	47
CAPÍTULO IV: MATERIALES Y MÉTODOS	48
IV.1. Metodología de la Investigación	48
IV.2. Tipo de Investigación.....	48
IV.3. Alcance de la Investigación	49
IV.4. Diseño de la Investigación.....	49
IV.4.1. Etapas de la Investigación.....	50
IV.4.2. Criterios de Diseño	50
IV.4.3. Descripción y Características Del Sistema Propuesto.....	50
IV.5. Población o Unidad de Análisis	51
IV.6. Técnicas e Instrumentos de Recolección de Información.....	52
IV.6.1. Informante Clave:	53
IV.7. Desarrollo e Implementación de la Propuesta	53
IV.7.1. Etapa 1: Dimensionamiento Del Área de Trabajo.....	53
IV.7.2. Etapa 2: Selección de Componentes	55
IV.7.3. Etapa 3: Diseño de Algoritmo	61
IV.7.4. Etapa 4: Instalación Del Sistema.....	67
IV.7.5. Etapa 5: Pruebas y Correcciones del Sistema	74
IV.7.6. Etapa 6: Análisis de Datos.....	75
CAPÍTULO V: RESULTADOS	79
V.1. Confiabilidad y Validez del Sistema de RFID	79
V.2. Arquitectura Del Sistema RFID en Tiempo Real	80
V.3. Algoritmo Del Sistema RFID	83
V.4. Seguridad Del Sistema RFID.....	83
V.5. Eficacia y Eficiencia Del Control	84
CAPÍTULO VI: DISCUSIÓN DE RESULTADOS	86
VI.1. Contrastación de Hipótesis Con Los Resultados.....	86
VI.2. Comprobación de la Hipótesis.....	87
VI.2.1. Hipótesis General	87
VI.2.2. Hipótesis Específicas.....	87
VI.3. Costo de Inversión.....	89

CAPÍTULO VII: CONCLUSIONES.....	91
CAPÍTULO VIII: RECOMENDACIONES.....	93
CAPÍTULO IX: BIBLIOGRAFIA	94
CAPÍTULO X: ANEXOS	101
Anexo 1: Matriz de Consistencia	101

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Proyección del tamaño del mercado de ubicación interior entre los años 2024-2029	2
Figura 2 Diagrama de Ishikawa del proyecto	6
Figura 3 Longitud de onda	14
Figura 4 Gráfica del espectro electromagnético.....	15
Figura 5 Imagen de una onda modulada, onda portadora, modulación por amplitud y modulación por frecuencia.....	17
Figura 6 Reflexión y refracción en aire y agua.....	19
Figura 7 Difracción de una onda	20
Figura 8 Esquema de antena transmisora y antena receptora.	23
Figura 9 Irradiación de una carga	25
Figura 10 Líneas del campo magnético	25
Figura 11 Propagación de una OEM.....	26
Figura 12 Antena representada por un dipolo real y dipolo isotrópico	27
Figura 13 Polarización horizontal vs. polarización vertical	28
Figura 14 Patrones de radiación de una antena direccional	28
Figura 15 Polarización Circular	29
Figura 16 Ejemplo de cómo una señal con ruido altera la información recibida de la transmitida.....	32
Figura 17 Módulo Lector 13.56MHz RC522 para Arduino	33
Figura 18 Lector Zebra RFID UHF 902-928 MHz	33
Figura 19 Etiqueta RFID usada en ropa	36
Figura 20 Trama de un byte en RS232.....	38
Figura 21 Raspberry P1 4 Modelo B.....	39
Figura 22 Módulo de edición local en Node-RED	40
Figura 23 Módulo DashBoard en Node-RED	42
Figura 24 Descripción gráfica de la nube.....	42

Figura 25 Representación gráfica de protocolo MQTT	43
Figura 26 Esquema del Alojamiento Vacacional Temporal.....	54
Figura 27 Arquitectura opción 1: sistema UHF 860-960MHz.....	57
Figura 28 Arquitectura opción 2: sistema 2.4 GHz.....	58
Figura 29 Arquitectura opción 3: sistema 2.4GHz.....	59
Figura 30 Especificaciones Técnicas Raspberry Pi modelo 3B	61
Figura 31 Diagrama de flujo del sistema RFID	62
Figura 32 Data cruda obtenida a través del puerto serial RS232.....	63
Figura 33 Primera etapa del algoritmo RFID	63
Figura 34 Configuración del Broker HiveMQ en Node-RED	64
Figura 35 Configuración del nodo de entrada.....	65
Figura 36 Bloque parseo de tramas.....	66
Figura 37 Configuración del nodo RFDATA.....	66
Figura 38 Bloque de despliegue gráfico.....	67
Figura 39 Sistema RFID instalado y puesto en marcha	68
Figura 40 Creación del nombre de una instancia en AWS	69
Figura 41 Elección de la máquina virtual para la plataforma IoT	70
Figura 42 Elección de la capacidad de instancia	70
Figura 43 Creación de par de claves en la instancia	71
Figura 44 Página principal de instancias en AWS	72
Figura 45 Versión de Node-RED instalada en la instancia Ubuntu - AWS .	72
Figura 46 Comando de inicio automático.....	73
Figura 47 Acceso al editor de Node-RED a través de la plataforma AWS..	74
Figura 48 Gráfico de primeras mediciones del sistema en la sala	75
Figura 49 Prueba del sistema RFID en el pasadizo.....	76
Figura 50 Representación gráfica del sistema RFID del monitoreo y localización de activos	76
Figura 51 Lectura de valores de las etiquetas instaladas	77
Figura 52 Distribución normal de los valores RSSI obtenidos a 7 metros de distancia.....	79
Figura 53 Arquitectura del Sistema RFID 2.4GHz	81
Figura 54 Porcentaje de tiempo de toma de inventario.....	82
Figura 55 Eficacia del Sistema RFID	85

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Tasa de Crecimiento Del Mercado de Interiores Por Continentes 2024-2029.....	3
Tabla 2 Permitividad Eléctrica ϵ_r y Conductividad σ de Las Superficies.....	19
Tabla 3 Características de Las Bandas de Frecuencia RFID	34
Tabla 4 Operacionalización de Las Variables	47
Tabla 5 Lista de permitividad ϵ_r y Conductividad σ de Materiales	55
Tabla 6 Reglas Para la Seguridad de la Plataforma IoT	71
Tabla 7 Calidad de la Señal	77
Tabla 8 Coeficientes de Pearson Para Cada Distancia	81
Tabla 9 Valores Encontrados en el Análisis de Datos	87
Tabla 10 Costos de Mano de Obra	89
Tabla 11 Costo de Materiales	90
Tabla 12 Costo de Mantenimiento Plataforma AWS por Mes	90

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

I.1. Planteamiento Del Problema

La localización en interiores es un servicio ampliamente usado hoy en día por todo el mundo.

Con la llegada de la Industria 4.0 ha tenido desarrollo el Internet de las cosas (IoT), que es una amalgama de tecnologías (como Lora, Sigfox, RFID, BLE, entre otros) y estándares de comunicación lo que permite que millones de dispositivos se conecten entre sí, gracias a ello se han venido desarrollando e implementando diferentes sistemas acorde a las necesidades del mercado, por ejemplo: en los hospitales y centros de construcción se vienen implementando innovadores sistemas de localización de los pacientes y del personal a cargo/colaboradores, de esta manera pueden saber en tiempo real donde se encuentran y trasladarlos más eficientemente; el control de activos y gestión de los mismos para cualquier empresa es importante debido a que reduce los gastos operativos así como el tiempo invertido en tomas de inventarios; el recupero y gestión ante un desastre natural/robo, por ejemplo, sería más fácil encontrar personas u objetos entre los escombros o buscarlos en una tienda de segunda mano; hoy en día en el aeropuerto Tokio Haneda, la aerolínea Japan Airlines usa el monitoreo de sus colaboradores para asignarles tareas acorde a su ubicación.(Zafari et al., 2019).

En la Figura 1 se observa un estudio de proyección del tamaño del mercado de localización de interiores de un 21.70%. entre el período 2024-2029 (Mordor Intelligence Research & Advisory, 2023), Asia como el mercado de crecimiento más rápido y América de Norte como el más grande.

Figura 1

Proyección del tamaño del mercado de ubicación interior entre los años 2024-2029

Tamaño del mercado de ubicación interior



Nota. De *Indoor Location Market* [Gráfico], por Mordor Intelligence Research & Advisory, 2023, Mordor Intelligence (<https://www.mordorintelligence.com/es/industry-reports/indoor-location-market>). Derechos de autor 2025 por Mordor Intelligence todos los derechos reservados

En América latina, este servicio está en crecimiento se espera que el mercado (2.10 billones de dólares) crezca alrededor de 7.90% según la Tabla 1, en un 3.09 billones de dólares en los próximos 5 años. (Mordor Intelligence Research & Advisory, 2024a)

De entre todas las tecnologías usadas, destaca el RFID siendo el mercado con alrededor de 15 billones de dispositivos enfocado en cadenas de suministros e identificación por radio frecuencia mediante etiquetas y sus respectivos lectores. (Mordor Intelligence Research & Advisory, 2024b)

Tabla 1*Tasa de Crecimiento Del Mercado de Interiores Por Continentes 2024 -2029*

Lugares	Tasa de crecimiento %
Asia - Pacífico	18.21
Europa	15.60
América del Norte	16.32
América del Sur	7.90

Nota. Adaptado de Latin America Location Analytics Market Size, por Mordor Intelligence Research & Advisory, 2024b, Mordor Intelligence (<https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/latin-america-location-analytics-market-industry>) Derechos de autor 2025 por Mordor Intelligence todos los derechos reservados

En el Perú, aunque si bien es cierto, hay avances de la implementación de sistemas RFID, éstas solo se limitan a grandes empresas principalmente aduaneras o de grandes almacenes. La localización en interiores ya es usada en diferentes empresas, principalmente en el rubro de retail en la región del Callao concretamente en el puerto se tienen implementados diversos sistemas RFID para el control aduanero. (Yarín, 2017)

El alcance es limitado y el costo e inversión económica es alta, por ello no es posible acceder a las pequeñas y medianas empresas (MYPE), incluso a personas naturales, a estos sistemas de control que cada vez son más necesarios debido a la creciente inseguridad en las viviendas en Perú, según el Instituto Nacional de Estadística e Informática - INEI es de un 9.5% en el semestre móvil diciembre 2024 – mayo 2025. (Instituto Nacional de Estadística e Informática INEI, 2025)

Este estudio propone una solución de un sistema RFID para empresas pequeñas y medianas con un desempeño óptimo y rendimiento económico

asequible - razonable. Es por ello que se ha elegido como nuestros sujetos de pruebas diferentes activos de un alojamiento a un vacacional temporal en el distrito de San Miguel, debido a este creciente tipo de servicio en el sector es necesario contar con un sistema de control de activos en tiempo real.

I.1.1. Problema General

Una vez expuesto la problemática se formula la siguiente interrogante: ¿Cómo diseñar e implementar un sistema RFID de bajo costo para el control de activos en tiempo real de un alojamiento vacacional temporal en el distrito de San Miguel?

I.1.2. Problemas Específicos

Se establecen 4 problemas específicos:

- PE1: ¿Cómo realizar un análisis adecuado de distintas alternativas de sistemas RFID para el control de activos en tiempo real de bajo costo aplicable al alojamiento vacacional temporal en distrito de San Miguel?
- PE2: ¿De qué forma diseñar un sistema RFID para el control de activos de bajo costo en tiempo real para alojamiento vacacional temporal en el distrito de San Miguel?
- PE3: ¿Cómo implementar un prototipo de un sistema RFID para el control de activos en tiempo real de bajo costo para alojamiento vacacional temporal en el distrito de San Miguel?
- PE4: ¿Cómo validar de forma eficiente el sistema RFID para el control de activos en tiempo real de bajo costo para alojamiento vacacional temporal en el distrito de San Miguel?

I.2. Objetivos

Se plantean el objetivo general y los objetivos específicos que responden a la problemática presentada.

I.2.1. Objetivo General

Diseñar e implementar un sistema RFID de bajo costo para el control de activos en tiempo real de un alojamiento vacacional temporal en el distrito de San Miguel.

I.2.2. Objetivos Específicos

Se plantean 4 objetivos específicos:

- OE1: Realizar un análisis adecuado de distintas alternativas de sistemas RFID para el control de activos en tiempo real de bajo costo aplicable al alojamiento vacacional temporal en distrito de San Miguel.
- OE2: Diseñar un sistema RFID para el control de activos en tiempo real de bajo costo para alojamiento vacacional temporal en el distrito de San Miguel.
- OE3: Implementar prototipo de un sistema RFID para el control de activos en tiempo real de bajo costo para alojamiento vacacional temporal en el distrito de San Miguel.
- OE4: Validar de forma eficiente el sistema RFID para el control de activos en tiempo real de bajo costo para alojamiento vacacional temporal en el distrito de San Miguel.

I.3. Justificación de la Investigación

Conociendo el planteamiento del problema, en la actualidad las empresas deberían tener un mejor control en sus activos el cual les permita poder acceder a un inventario y conocer el estado de cada uno en tiempo real. De esta manera se disminuyen los tiempos y dinero invertidos en dicha tarea fomentando un entorno hacia la productividad, desarrollo, innovación y de valor.

La Figura 2 muestra las causas y efecto en un diagrama de Ishikawa realizado para este proyecto.

En el ámbito social/empresarial, pretende innovar en el sector de pequeña y mediana empresa ofreciendo prestaciones de alto rendimiento y nivel tecnológico.

Figura 2

Diagrama de Ishikawa del proyecto



Nota. Elaboración propia

En lo metodológico, el proyecto se apoyará en el libro Metodología de la investigación las rutas cuantitativas, cualitativas y mixta. (Hernández-Sampieri y Mendoza, 2018), con un enfoque cuantitativo, con un diseño de estudio explicativo y descriptivo, que servirá de apoyo para posteriores análisis, implementaciones y comparaciones que se estuvieran llevando a cabo.

En el aspecto formativo y académico, el estudio pretende contribuir enriqueciendo la investigación del campo de la radiofrecuencia con el análisis de diversos sistemas actuales y en tendencia.

Los resultados y análisis de la presente investigación determinarán la viabilidad del proyecto.

I.4. Limitaciones de la Investigación

I.4.1. Inversión Económica

El factor económico juega un papel importante a la hora de elegir una propuesta, por lo que se debe tener en cuenta hacer el dimensionamiento de los materiales cuidadosamente.

I.4.2. Materiales Utilizados

Para que el proyecto pueda ser atractivo, el sujeto de estudio contará con un lector RFID de 2.4GHz que recolectará las señales enviadas por los diferentes tags (etiquetas activas) distribuidos arbitrariamente en los activos designados (Ejm: Televisor, microondas, frigobar, etc.); dicho lector RFID estará conectado a un procesador de datos Raspberry Pi mediante RS-232, que a su vez estará enviando los datos a la nube (vía WIFI/Cable), de esta manera los datos podrán ser visualizados remotamente en tiempo real.

CAPÍTULO II: REVISIÓN DE LITERATURA

II.1. Marco Teórico

Este capítulo abarcará la base teórica en la que se sustenta el diseño del sistema RFID. Se dará un breve resumen de los antecedentes encontrados a nivel internacional como nacional que soportan nuestro desarrollo del proyecto acorde a lo establecido en nuestros objetivos. Se presentará la metodología utilizando definiciones que permitirán la comprensión de la terminología empleada en los procedimientos, perspectivas y técnicas utilizadas de un sistema RFID.

II.2. Antecedentes

II.2.1. Antecedentes Internacionales

Los estudios encontrados son variados, en antecedentes internacionales son los artículos que nos ayudan a entender la teoría y algunas aplicaciones de manera general del sistema RFID

II.2.1.1.A Survey of Indoor Localization Systems and Technologies.

Según Zafari et al. (2019), se ha realizado un estudio muy completo sobre las diferentes tecnologías de los sistemas de localización interna, y cómo están ligadas al internet de las cosas (IoT) hoy en día. En su investigación abarca tecnologías como WiFi, Bluetooth, Zigbee, RFID, Lora, UWB, luz visible, ultrasonido y señales acústicas, las diferentes

técnicas de localización RSSI, CSI, AoA, entre otros, métricas del comportamiento de cada una de ellas y posibles escenarios en los que se puede emplear. (p. 1) Así como también la evaluación de costos, energía, eficiencia, rango de recepción, disponibilidad, latencia, escalabilidad y perspectiva de precisión de localización. (p. 2)

II.2.1.2.A Survey on Indoor Vehicle Localization Through RFID

Technology. Este artículo presenta un análisis del estado del arte sobre los métodos adecuados para el uso en interiores de vehículos, localización y explotación de la tecnología RFID (identificación por radiofrecuencia) (Motroni et al., 2021, p 1). Si bien el enfoque de estudio está orientado a vehículos, explora la idea de combinar sensores propioceptivos y exteroceptivos con diferentes sistemas RFID con el propósito de lograr precisión en la localización. Concluyendo con el análisis de pros y contras y discusión de los diferentes métodos obtenidos.

II.2.1.3.RFID 3-D Indoor Localization for Tag and Tag-Free Target Based

on Interference. Liu et al. (2019), proponen en su estudio un prototipo de algoritmo de localización de interiores en 2D y 3D con estimaciones muy precisas llamado Lobain. Dicho algoritmo se basa en el método de envoltura relativa de enteros (relative phase wrapping integer method) para resolver el problema de envoltura de fase de las etiquetas de referencia, y se utilizó el método de mínimos cuadrados para optimizar el equilibrio entre el número de etiquetas de referencia y la precisión. (p. 1). En su fase experimental 2D se usaron el lector Impinj R420, una antena Laird S9028PCR (UHF) y etiquetas pasivas ALIEN AZ9662. Logrando una precisión de localización de 10 cm aproximadamente y señalando las limitaciones de antena y número de objetivos.

II.2.1.4.Análisis Del Costo Beneficio de la Implementación de Tecnología

RFID en la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. En su Proyecto Terminal de maestría, Soto Escamilla (2022) realiza una

investigación para estudiar la viabilidad de la implementación a través de la relación costo-beneficio del equipamiento para el seguimiento de activos fijos de la Universidad autónoma del Estado de Hidalgo. (p. 1). Realiza un estudio de mercado, un estudio técnico y analiza las ventajas y desventajas del proyecto. Propone varias tecnologías como RFID, Zigbee, BLE, Wi-Fi y tarjetas inteligentes. Concluye que dependiendo de la naturaleza del proyecto y manipular ciertas variables (tiempo, productividad, trazabilidad, precisión, entre otros) es posible tener mayor o menor costo beneficio puesto que está ligado al material que se emplea, en su caso se optó por la tecnología RFID la cual tiene una inversión económica elevada inicial sin embargo se espera que los beneficios superen los costos en el largo plazo.

II.2.1.5.Sensor exploration for localization in cleanrooms. Pankaj Shah (2020) aborda una investigación de localización de sensores RFID y BLE con ayuda de Visión Computarizada para determinar el costo-eficiencia de la implementación de los mismos. (p. 1) Realiza su investigación en un ambiente de pruebas esterilizado (cleanrooms) y en el sistema RFID utiliza 2 lectores UHF con polarización circular y alrededor de 12 etiquetas pasivas. Expone una tabla comparativa donde se expone la precisión del 82.5% para RFID y 62% para el BLE. Concluye en la propuesta de un enfoque híbrido de tecnologías debido a que cada una tiene sus ventajas y desventajas pero que, combinadas, pueden mejorar la localización de una manera efectiva de cara al futuro.

II.2.2. Antecedentes Nacionales

En los antecedentes nacionales se enfocó en encontrar aplicaciones lo más parecidas en el territorio nacional por un lado tenemos aplicaciones en relación con sistemas RFID propuestos de manera local y por otro lado tenemos la solución IoT que se centra en la difusión e interconexión con la nube y el acceso remoto.

II.2.2.1.Diseño e Implementación de un Sistema de Localización y Control de Inventarios en un Almacén de Aduanas, Utilizando Tecnología RFID.

Yarín (2017) busca identificar el estado del arte y la implementación de la Tecnología RFID en la gestión de almacenes y su aplicación en la industria. Concretamente, realiza el análisis – costo beneficio de un almacén en el puerto del Callao en el contexto de crecimiento del comercio, las deficiencias logísticas en el Perú, dificultades en los depósitos temporales y necesidad de innovación tecnológica. El sistema RFID propuesto incluye una coexistencia de etiquetas pasivas y activas. Presenta los resultados obtenidos enfocando en el impacto económico que es entre el 20 y 30% de las ventas, optimización de tiempo en un 98%, y seguridad en las operaciones. Concluyendo que la tecnología RFID es efectiva en la logística de los almacenes.

II.2.2.2.Análisis, diagnóstico y propuesta de mejora del sistema de almacenamiento de un depósito temporal en un contexto de pandemia.

Rivera Salinas (2021) en su tesis propone mejorar el sistema de picking y el sistema de gestión de almacenes, para lograr dicha tarea propone un rediseño mediante el análisis y diagnóstico del almacén y los sistemas de información presentes. En cuanto al equipamiento para el picking, se determinó usar un sistema RFID de 4 antenas UHF en las bandas de acción 860MHz y 960MHz y etiquetas pasivas (alrededor de 2300) para controlar el gran volumen de producción de la empresa; y en la parte de gestión de almacenes implementa el uso del software ClearStream RFID que monitorea las etiquetas. Concluye en un análisis costo – beneficio con un valor neto positivo y un retorno de inversión de hasta 59% en el periodo del primero año.

II.2.2.3.Prototipo de solución para monitoreo y control remoto de una red de distribución de agua potable usando la tecnología LoRa WAN.

Gonzales (2022) realiza en su trabajo una investigación de tecnologías

como WiFi, BLE, Sigfox, NB-IoT y Lora WAN para determinar la más adecuada mediante criterios como: rango de cobertura, ancho de banda, bajo consumo de potencia, penetración frente a obstáculos y de bajo coste. Además, para el monitoreo de los sensores de agua potable utiliza Udibots, un servidor IoT que permite conectar hardware y/o servicios de datos a esta plataforma en la nube caracterizada por ser agnóstica en cuanto a los dispositivos a emplear y brinda sus API REST para desarrollar soluciones personalizadas. Si bien es cierto se presenta la evaluación económica del proyecto como de bajo costo y se concluye que la inversión dependerá de la escala del mismo.

II.2.2.4.Diseño e implementación de un sistema de inventario RFID para el almacén de la sección de Electricidad y Electrónica de la PUCP.

Sotelo Narváez (2020) propone un diseño de sistema inventariado en base a un lector UHF Impinj R420 con etiquetas pasivas implementadas en los activos del almacén. La gestión de datos la realiza a través de un servidor virtual en basado en Linux y desarrolla un aplicativo en Visual Studio Code para su control y administración en la base de datos. Concluye que el sistema funciona ayudando a la automatización de tareas y optimización de tiempo.

II.2.2.5.Diseño e implementación de un sistema de internet de las cosas para supervisar cultivos de maíz en Huancavelica, en el 2022.

Montañez (2023) propone una solución basada en Lora WAN para la supervisión en la recolección de datos climáticos y edáficos de los cultivos de maíz. Desgrega en detalle las 3 fases del proyecto: implementación de dispositivos electrónicos (sensores IoT), una puerta de enlace para la transmisión y un aplicativo web para su visualización. Para el monitoreo remoto implementa Node – RED enlazada a una base de datos MongoDB instalada en la plataforma IoT Amazon Web Services esta última por disponer de mejor documentación en internet. Concluye que el sistema presentado demostró ser una herramienta con impacto y efectiva a pesar de las limitaciones electrónicas.

II.3. Base Teórica Del RFID

En el presente subcapítulo, se abarcará la teoría que hay detrás de la identificación por radiofrecuencia, su naturaleza, definiciones, propiedades, composición, características y cómo se relaciona con el ambiente, diferentes medios de propagación e interactúa en diferentes dispositivos, ya sean equipos o accesorios según su aplicación, designados para lograr transmitir y recibir información.

II.3.1. La Radiofrecuencia y el Espectro Electromagnético

Los primeros vestigios del uso de la radiofrecuencia se dieron en el primer tercio del Siglo XIX. con la radio y la televisión, logró evolucionar a través de los años integrando más conceptos y tecnologías a tal punto que hablar hoy en día de transmisión por radio involucra las comunicaciones móviles y transmisión por redes inalámbricas.

II.3.1.1. Onda Electromagnética (OEM). Existen 2 definiciones para las ondas electromagnéticas. Acorde a la física clásica, cuando un campo eléctrico y un campo magnético oscilantes de manera perpendicular entre sí se unen, se crea un flujo de energía a una velocidad que viaja constante c de $3 \times 10^8 \text{ m/s}$ que es la velocidad de la luz, a esto se le llama onda electromagnética. Su propagación es indiferente del medio debido a que incluso atraviesan el vacío.

Ecuación 1

$$c = \lambda v$$

Donde:

c : velocidad de la luz $\left(\frac{\text{m}}{\text{s}}\right)$

λ : longitud de onda (m)

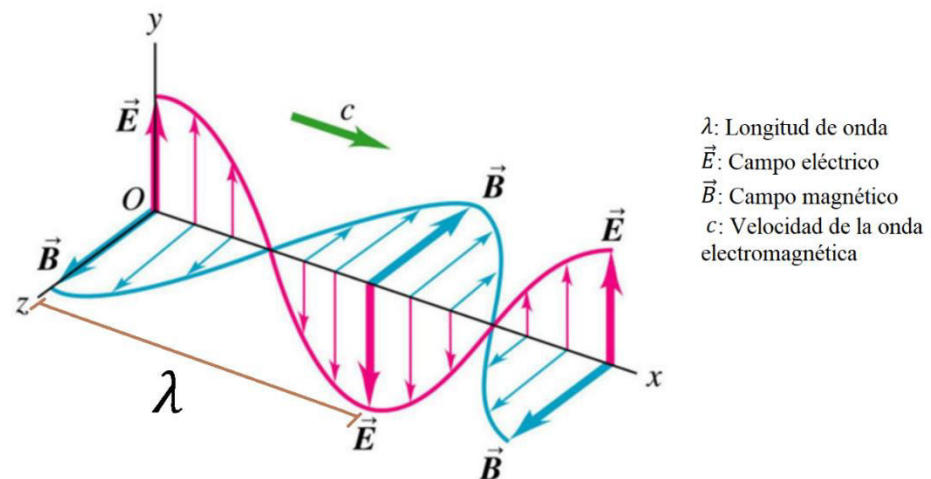
v : frecuencia Hz o s^{-1}

Según la Ecuación 1 cada OEM tiene asociada una longitud de onda que viene a ser la distancia entre cresta y cresta y una frecuencia que es la periodicidad con la que la longitud de onda se repite en un segundo, tal como se muestra en la Figura 3.

Un claro ejemplo son las ondas microondas, las ondas infrarrojas, la luz visible o la luz ultravioleta.

Figura 3

Longitud de onda



Nota. Adaptado de *Conceptos y Principios* [Imagen], por D'Alessandris Paul, s.f., Libre Text Español (<https://goo.su/BUXvY>). CC BY-NC-SA 4.0

La física cuántica define la OEM como un flujo de energía de pequeños paquetitos llamados cuantos o fotones que viajan a través del espacio. Estos paquetitos tienen energía y son medibles mediante la famosa ecuación de Planck descrita en la *Ecuación 2*.

La energía E es directamente proporcional a la frecuencia, y está relacionada con la intensidad de radiación e indirectamente a la longitud de onda. De manera que, si la OEM tiene una alta frecuencia,

mayor será la energía emitida y su longitud de onda se menor. La Figura 4 muestra la clasificación por frecuencias del espectro electromagnético.

$$E = h\nu$$

Ecuación 2

Donde:

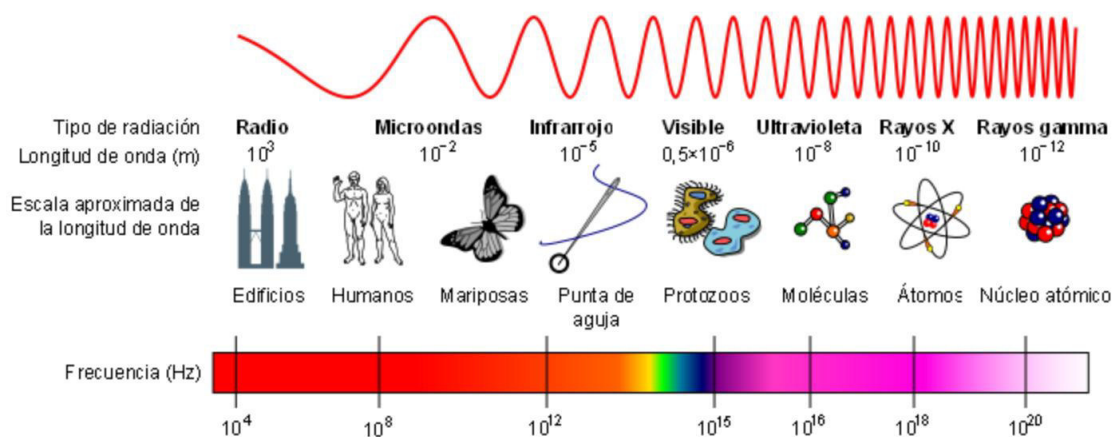
E: energía del cuanto o fotón

h: constante de Plank ($6.626 \times 10^{-34} \text{ J.s}$)

ν : frecuencia Hz o s^{-1}

Figura 4

Gráfica del espectro electromagnético



Nota. Adaptado de *EM Spectrum Properties* [Imagen], por Crates, 2008, Wikimedia Commons

(https://commons.wikimedia.org/wiki/File:EM_Spectrum_Properties_es.svg).

Dominio público

Las OEM tienen diversas aplicaciones en la medicina o en la industria alimenticia como la esterilización en el caso de la energía Ultravioleta. Es gracias a esta emisión de energía que se hace posible observar los colores en el espectro de Luz visible, así como también realizar

mediciones de calor en el espectro Infrarojo o la transmisión y recepción de la información en el espectro de Ondas de radio.

II.3.1.2.Onda de Radiofrecuencia. Las ondas de radiofrecuencia son conocidas como ondas de radio, y su ubicación en el espectro electromagnético es en las frecuencias más bajas de **10 Hz** a **10⁹ Hz**, por tanto, sus amplitudes de onda varían desde miles de metros hasta los 30 centímetros.

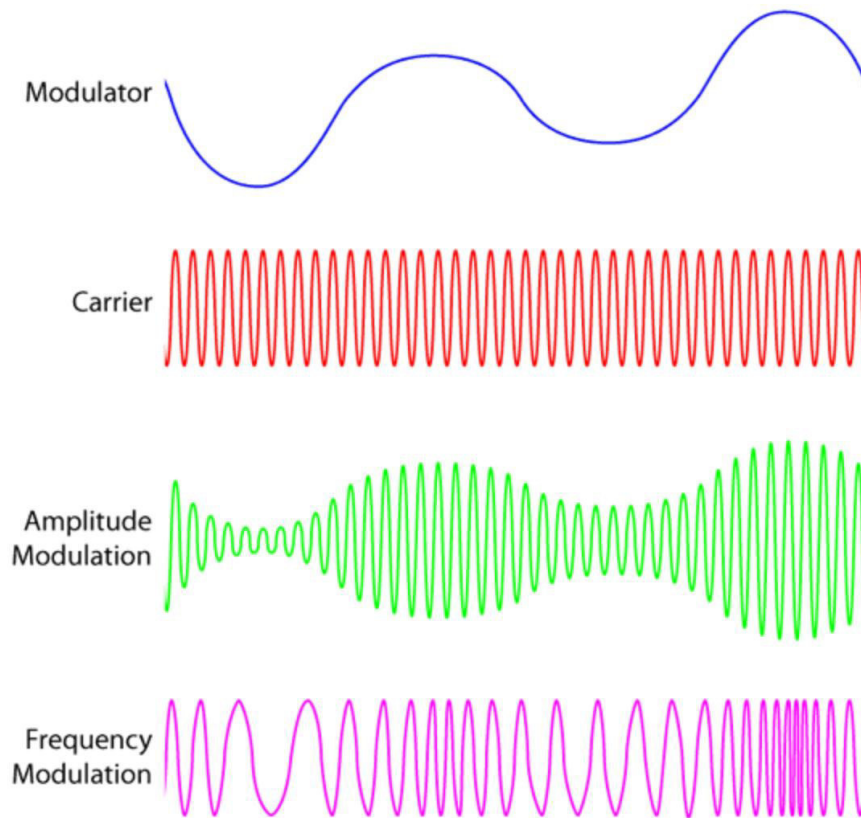
Ejemplo de estas ondas son las que se emiten en las estaciones de radio y televisión, viajan por el espacio y el aire transmitiendo información. Hoy en día tiene diversos usos por ejemplo en la medicina con la resonancia magnética, en la estética para la reducción de las arrugas y curar heridas, en la identificación como son las tarjetas electrónicas de cualquier banco o empresa de transportes y por supuesto en la localización de activos o personas.

II.3.1.3.Transmisión por Radiofrecuencia.

- a. Onda Portadora.** Para llevar a cabo la transmisión por radiofrecuencia, se necesita de una onda portadora cuya función es portar la onda moduladora, en este caso serían las ondas de radio, y llevarla hacia otro lugar. Estas ondas tienen un rango de frecuencias más alto del orden de los 30Khz en adelante. Y son de forma senoidal tal como se observa en la Figura 5. Esta onda no contiene información.
- b. Onda Modulada.** Es la onda que llega al receptor y combina la onda de radio y la onda portadora, es decir es una onda alterada que lleva información. En la Figura 5 podemos observar los diferentes tipos de ondas que se utilizan en la transmisión así como también el proceso de modulación por frecuencia, una de las más utilizadas para transmitir información.

Figura 5

Imagen de una onda modulada, onda portadora, modulación por amplitud y modulación por frecuencia



Nota. De *Modulación AM y FM* [Imagen], por ESERO Spain, 2021, ESERO Spain (https://esero.es/practicas-en-abierto/decodifica-imagenes-iss/ondas_de_radio.html). CC BY-SA 4.0

c. Modulación. Es el desplazamiento de una onda que está en su banda base (rango de frecuencias original) hacia otra banda para lograr la transmisión. Existen diferentes tipos de modulación y consisten básicamente en modificar la amplitud, la frecuencia o la fase de la onda portadora. En esencia se recurre a la modulación para tener un sistema de transmisión libre de interferencias y lo suficientemente potente para evitar las pérdidas de señales.

d. Potencia de Las Señales. Es inherente hablar de la potencia de las señales en transmisión, cuyo valor está sujeto a la Ecuación 3.

$$P = \frac{E}{\Delta t}$$

Ecuación 3

Donde:

P: potencia de una OEM

E: energía del cuanto o fotón

Δt : intervalo de tiempo determinado

II.3.1.4. Medios de Propagación.

- a. **Propagación Atmosférica.** La propagación de las OEM en la atmósfera sigue el camino desde el transmisor hasta el receptor. Dichas ondas se pueden perder en el camino debido a diversos factores de atenuación principalmente afectando al orden por encima de los 10 GHz, componentes gaseosos como vapor agua (H₂O), el oxígeno (O₂), el dióxido de carbono (CO₂), y partículas más grandes como gotas de agua y polvo son algunos de los ejemplos.
- b. **Propagación Superficial.** Las ondas de radio particularmente se desplazan en la superficie terrestre, siendo su principal factor de atenuación las distancias, frecuencia y resistencia al suelo. Debido a que se considera al suelo como un dieléctrico, superficies como el agua tienden a atenuar menos debido a su alta conductividad y superficies como suelo tierra seca hacen el efecto contrario, se detallan los valores según la Tabla 2.

II.3.1.5. Reflexión, Refracción, Difracción, Dispersión e Interferencia. Es común que en la propagación de las OEM ocurran ciertos fenómenos físicos frente a objetos u obstáculos. De acuerdo a la ley conservación de la energía, cuando la onda es emitida hacia un cuerpo parte de ella se refleja en la superficie cambiando de dirección en el mismo medio y otra se refracta, es decir y acorde al coeficiente experimentado por la

densidad, la onda sigue su camino con una energía, dirección y velocidad diferente en el otro medio de propagación, esto hace que el lápiz de la Figura 6 parezca más grande viendo en un sentido diferente en el medio que en este caso es el agua.

Tabla 2

Permitividad Eléctrica ϵ_r y Conductividad σ de Las Superficies

Tipo de suelo	ϵ_r	σ (mS/m)
Agua de mar	80	4000
Agua dulce	80	5
Tierra húmeda	15-30	5-20
Suelo rocoso	7	1-5
Tierra Seca	4	1-10

Nota. Adaptado de *Radiación y Propagación* (p. 70), por Sierra Castañer et al., 2004, Universidad Politécnica de Madrid.

Figura 6

Reflexión y refracción en aire y agua



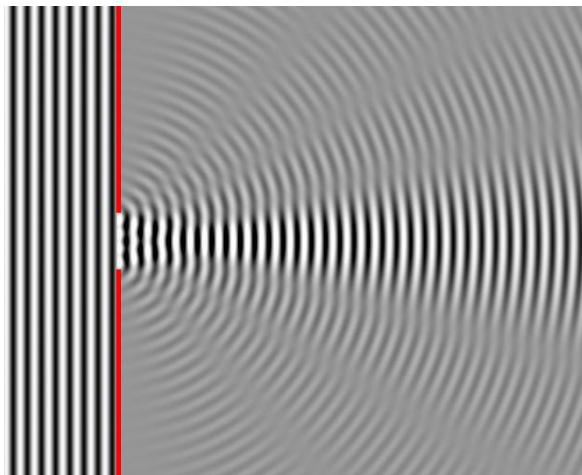
Nota. De *Refraction* [Fotografía], por Mohammad Tajer, 2007, Flickr (<https://www.flickr.com/photos/mohtj/436541295/>). CC BY-NC-ND 2.0

La difracción es el curvado que la onda tiene al pasar por un obstáculo, bordeándolo para seguir con su camino, como se puede observar en la Figura 7 hay una clara difracción y se acentúa más debido a que la rendija es del mismo tamaño de la longitud de onda. Por ejemplo, los celulares se comunican sin tener línea de vista con la antena u estación base, gracias a que las ondas se contornean, sin embargo, si el objeto u obstáculo supera la longitud de la onda, habrá mínima difracción y seguirá su camino en línea recta.

Dispersión se refiere a las ondas interactuando con diferentes partículas en el medio, claro ejemplo es la dispersión en la atmósfera dando el característico color al cielo. En la aplicación a la radiofrecuencia puede causar degradación de la señal, debido a que se interactúa con diferentes medios ocasionando distorsión de las señales en banda ancha, una manera de resolverlo es utilizando procesamiento de señales y ecualizadores.

Figura 7

Difracción de una onda



Nota. De de *Wave Diffraction 4Lambda Slit* [Imagen], por Dicklyon, 2007, Wikimedia Commons (https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Wave_Diffraction_4Lambda_Slit.png). Dominio público

Por último, la interferencia ocurre cuando ondas de la misma frecuencia están emitiéndose en un determinado tiempo coincidiendo en el mismo medio y espacio. Dichas ondas se superponen y causan variaciones en la amplitud de las mismas.

II.3.1.6. Características de Tipos de Ondas. Existen distintos tipos de ondas en el espectro electromagnético del RFID, no obstante, se citan las más relevantes por su comercialización. Según Tang (2023), existen 4 tipos de ondas en LF, HF, UHF y Activa UHF, sin embargo, para fines de orden la categoría Activa UHF se incluirá en UHF.

a. Baja Frecuencia (LF). Este tipo ondas están en el rango de 30KHz hasta los 300KHz con longitudes de onda desde los 10Km a 1Km respectivamente, sin embargo, las frecuencias más utilizadas para RFID son del orden de los 125KHz y 134.2 KHz. no son afectadas por el agua, madera y tejidos orgánicos, es decir pueden penetrar sin problema estos materiales y su aplicación también está dentro de estos campos.

Trabajan por acoplamiento inductivo muy cercano, o casi directo, y debido a su naturaleza lenta y que solo transporta pocos datos de información no son apropiados para localización sino para rastreo como la identificación en animales y control de acceso.

b. Alta Frecuencia (HF). Las ondas de Alta Frecuencia se sitúan entre los 3-30MHz (con longitud de onda de 100-10m). En este rango encontramos acoplamiento inductivo también, pero con la diferencia que son del orden de los centímetros y mucho más rápidas. En RFID se utiliza la banda de 13.56 MHz para todo lo que son pagos por contacto, y control de acceso.

c. Ultra Alta Frecuencia (UHF). Con un rango amplio desde los 300MHz hasta los 3GHz son ondas de 1m hasta los 100mm, aquí

se puede encontrar acoplamiento capacitivo para el uso del RFID en las frecuencias comerciales de:

- Pasiva UHF (433MHz, 860 – 930 MHz). con un alcance de entre 1m y 20m, usualmente las antenas tienen una polarización linear o circular, pero es limitado ya que no penetran en metales y sustancias líquidas. Su aplicación es la más conocida en el mercado debido a su alta tasa de transmisión de múltiples ondas, ejemplo son el control de activos, control de productos y la logística del retail.
- Activa UHF (2.4GHz). con un alcance de 20 m hasta 150m este tipo de ondas son del orden de los centímetros, como están casi bordeando el espectro de Super Alta Frecuencia (SHF – 3-300GHz) se apoyan en la banda de las microondas ISM (Industrial Scientific and Medical) misma banda que utiliza la tecnología WiFi 802.11b. Estas ondas transmiten más información a velocidades muy altas y son inmunes al metal y a altas temperaturas. Su aplicación es para uso masivo y de altas velocidades, como control de personal, control de activos y cronometraje en carreras de motos/autos. (Tang, 2024)

II.3.2. Tecnología RFID

La tecnología de Identificación por radio frecuencia se compone principalmente por 5 principales etapas: la antena sirve para emitir/recibir las señales, el lector que codifica las señales, las etiquetas o transponders que son las que reciben/emiten señales, una unidad de procesamiento que decodifica las señales y una unidad de difusión como la nube para su tratamiento posterior.

En este apartado abarcaremos a grandes rasgos la teoría de las 5 etapas mencionadas que conlleva a realizar nuestro proyecto.

II.3.2.1. Antenas.

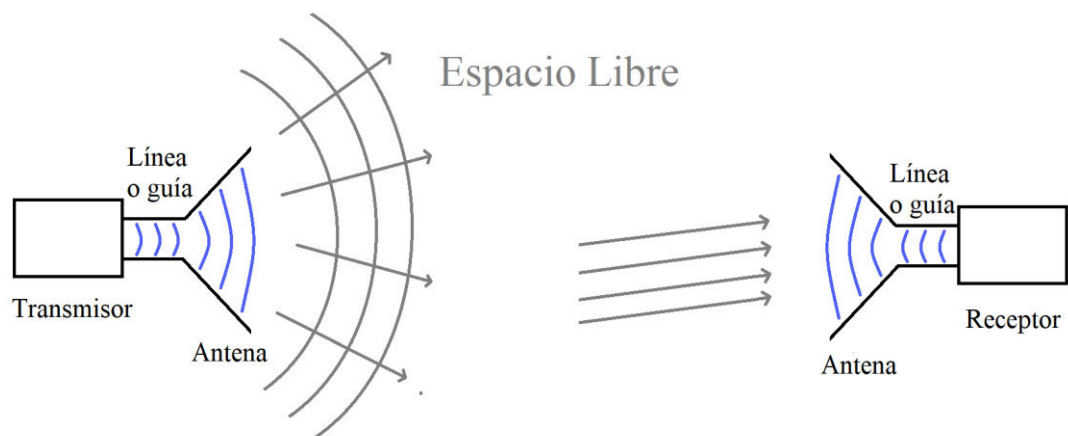
El “Institute of Electrical and Electronics Engineers” (IEEE) (1983) define una antena como aquella “parte de un sistema transmisor o receptor diseñada específicamente para radiar o recibir ondas electromagnéticas” (p. 7).

En RFID tenemos tanto antenas transmisoras y antenas receptoras, que están hechas de metal y tienen diversas configuraciones acordes al uso de cada una dependerá de los requerimientos necesarios para cada caso.

Las antenas transmisoras son dispositivos que emiten las ondas desde un transmisor hacia el espacio libre, y las antenas receptoras hacen el tratamiento inverso, es decir captan las emisiones de ondas en el espacio libre hacia un receptor, como se puede observar en la Figura 8. La diferencia más resaltante en ambos tipos es que la primera requiere mayor energía eléctrica que la segunda.

Figura 8

Esquema de antena transmisora y antena receptora.



Nota. Elaboración propia

- a. Radiación y Propagación.** Las ecuaciones de Maxwell describen el comportamiento de la radiación y propagación de las OEM al estar relacionadas con los fenómenos electromagnéticos.

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{E} = \frac{\rho}{\epsilon_0} \quad \text{Ecuación 4}$$

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{B} = 0 \quad \text{Ecuación 5}$$

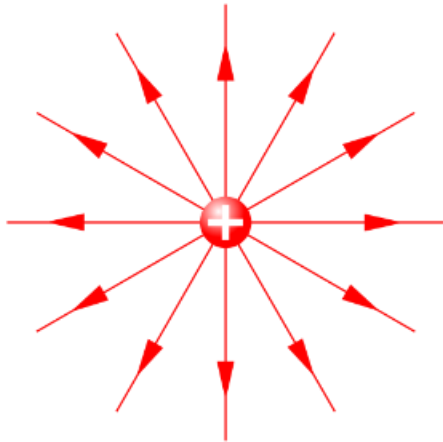
$$\vec{\nabla} \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \quad \text{Ecuación 6}$$

$$\vec{\nabla} \times \vec{B} = \mu_0 \vec{J} + \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} \quad \text{Ecuación 7}$$

Las leyes de Gauss para la electrostática Ecuación 4 y magnetostática Ecuación 5 nos indican el principio de radiación y se ilustra en la Figura 9, la primera ecuación señala que las fuentes del campo eléctrico $\vec{E}$ son las cargas eléctricas ρ debido a que cada carga irradia líneas de fuerza, mientras que la segunda se refiere a que el campo magnético $\vec{B}$ no tiene fuentes dado que las líneas de fuerza se cierran sobre sí mismas, como puede apreciarse en la Figura 10.

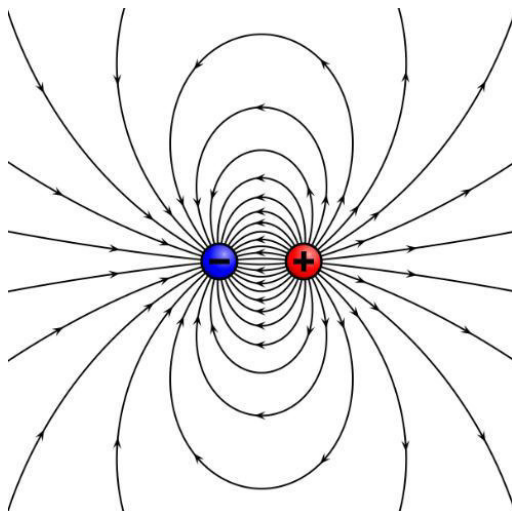
Mientras la Ecuación 6, la Ley de Faraday, y la Ecuación 7, la Ley de Ampere – Maxwell, indican que la variación del campo magnético $\vec{B}$ produce un campo eléctrico rotacional $\vec{E}$ y un campo eléctrico variable $\vec{E}$ genera un campo magnético rotacional $\vec{B}$, que son precisamente de lo que están hechas las OEM como se aprecia en la Figura 11.

- b. Tipos de Antenas Según su Radiación.** Hay diversos tipos de antenas con una vasta cantidad de aplicaciones, para el RFID nos centraremos en las siguientes como indica la Figura 12.

Figura 9*Irradiación de una carga*

Nota. De *Electric field of a point charge* [Imagen], por Victor Blacus, 2012, Wikimedia Commons

(https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Electric_field_of_a_point_charge.svg). CC BY-SA 3.0

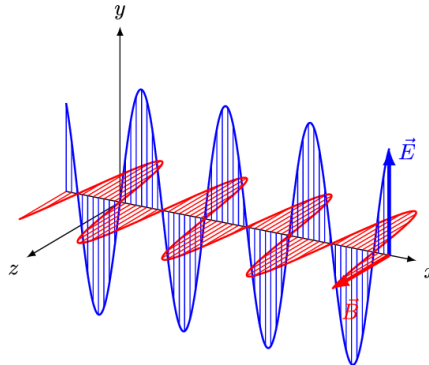
Figura 10*Líneas del campo magnético*

Nota. De *VF Pt dipole electric manylines* [Imagen], por Geek3, 2010, Wikimedia Commons

(<https://commons.wikimedia.org/wiki/File:VF Pt dipole electric manylines.svg>). CC BY-SA 3.0

Figura 11

Propagación de una OEM



Nota. De *EM-Wave* [Imagen], por And1mu, 2016, Wikimedia Commons (<https://commons.wikimedia.org/wiki/File:EM-Wave.gif>). CC BY-SA 4.0

- Antenas Isótropas. Es la antena ideal es decir hipotéticamente hablando es un dipolo de valor 1 cuya intensidad de radiación es igual en todas las direcciones del espacio, está representada por una esfera perfecta y no tiene pérdidas por disipación de calor en ninguna parte sin importar el ángulo como se ilustra en la Figura 12.

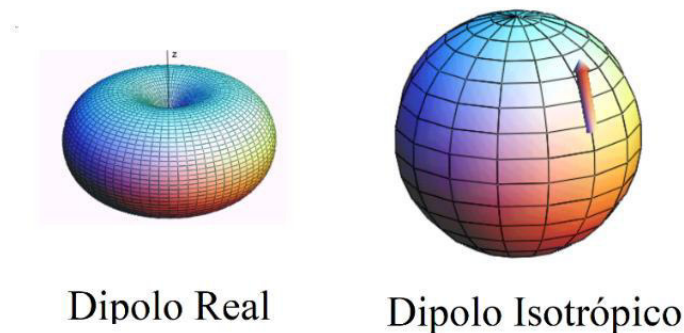
Esta antena sirve de base referencial para las mediciones de potencia, ganancia y directividad de las antenas reales. Su ganancia 1 o mejor dicho 0 decibelios isotrópicos (dBi) indica el número de veces más de energía irradiada de una antena real en su máxima dirección.

- Antenas Omnidireccionales. Es la antena con dipolos reales cuyo patrón de radiación se asemeja a una dona o toroide como se aprecia en la Figura 12. En RFID este tipo de antenas son emisoras o receptoras y generalmente son usadas por la banda UHF del orden de los 2.4GHz, debido a que posee un área de cobertura grande y uniforme en el plano horizontal. O también en

la radiodifusión FM, televisión y telefonía móvil donde son puntos centrales para la transmisión.

Figura 12

Antena representada por un dipolo real y dipolo isotrópico



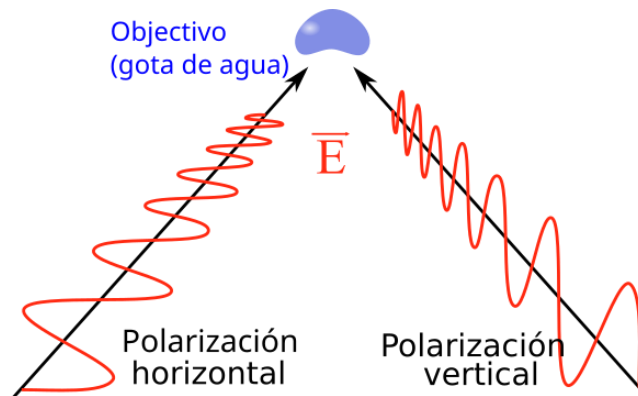
Nota. Adaptado de *Antenas Elementales 2 Potencial Vector* (p. 6-7), por M. Ferrando y A. Valero, 2001, Revista Universidad Politécnica de Valencia.

Por lo general poseen una polarización en vertical, es decir la orientación del campo eléctrico de la OEM está en el plano perpendicular a la superficie de la tierra por lo que oscila de arriba abajo y mientras que el campo magnético oscila de derecha a izquierda. La Figura 13 ilustra gráficamente la diferencia de cómo las ondas de radio son transmitidas por antenas con polarización horizontal y vertical hacia una gota de agua.

- **Antenas Direccionales.** Son las antenas que tienen un haz en una determinada dirección, es decir concentran la radiación en un área específica como si se tratase de un cono, ver Figura 14. Usualmente se usan estas antenas para los sistemas RFID UHF del orden de los 860 – 930 MHz, son antenas transmisoras cuya polarización es circular o lineal, ver Figura 15. Alcanzan grandes distancias de emisión sacrificando el área de cobertura.

Figura 13

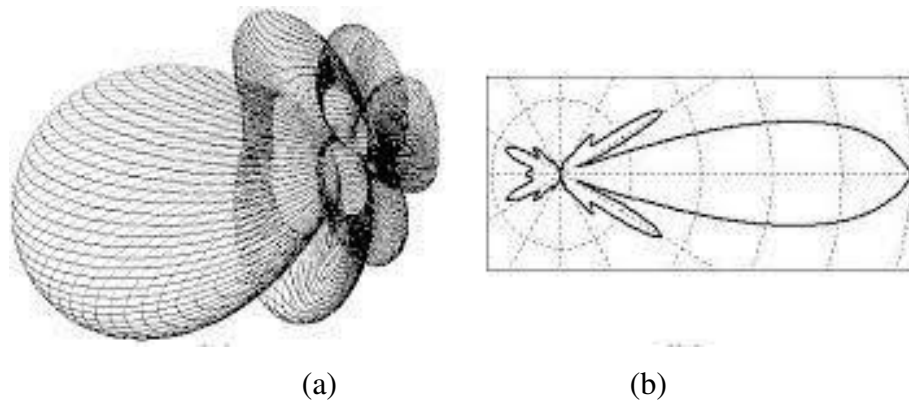
Polarización horizontal vs. polarización vertical



Nota. De *Radar-polarisation* es [Imagen], por Flerhun, 2011, Wikipedia (https://es.m.wikipedia.org/wiki/Archivo:Radar-polarisation_es.svg). CC BY-SA 2.5

Figura 14

Patrones de radiación de una antena direccional



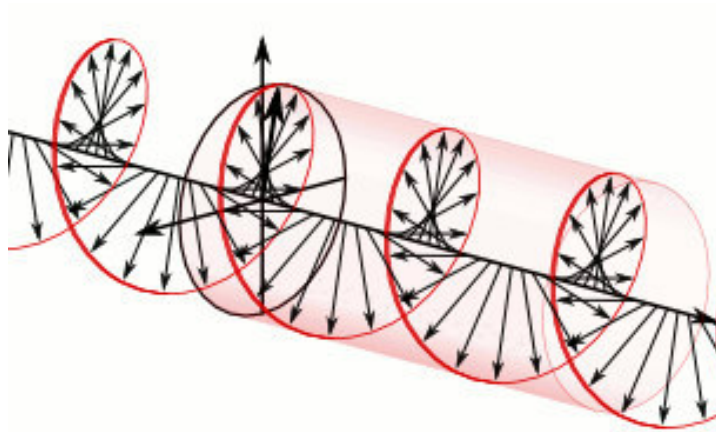
Nota. (a) Patrón de radiación de una antena direccional en 3D, (b) Patrón de radiación de una antena direccional en 2D. De *Antenas* (p. 4), por A. Luna Castellanos, s.f., Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica

c. Ganancia. “La característica más importante de una antena es la ganancia. Esto viene a ser la potencia de amplificación de la señal.

La ganancia representa la razón entre la intensidad de campo que produce una antena en un punto determinado y la intensidad de campo que produce una antena isotrópica, en el mismo punto y en las mismas condiciones”. (Luna Castellanos, s.f.)

Figura 15

Polarización Circular



Nota. De *Circular.Polarization.Circularly.Polarized.Light Right.Handed.Animation* [Imagen], por Dave3457, 2010, Wikipedia (<https://goo.su/6gQ2oC>). Dominio Público

d. Potencia Isotrópica Radiada Efectiva (PIRE). Se mide comparando la potencia que genera una antena en una dirección específica con respecto a la antena isotrópica.

Su fórmula generalmente viene dada por la Ecuación 8.

$$P.I.R.E = P_{Tx} + G_{iso} - P \quad \text{Ecuación 8}$$

Donde:

P_{Tx} : Potencia del transmisor (dBW)

G_{iso} : Ganancia de potencia de una antena isotrópica (dBi)

P : Pérdidas en el cable (dB)

Es en base a esta potencia que se regulan los países a valores específicos permitidos. Para el caso de Perú esta potencia es de 4W. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2013. p. 493083)

- e. Ruido Radioeléctrico.** En la Recomendación UIT-R V.573 se define el ruido radioeléctrico como: “Fenómeno electromagnético variable que se manifiesta en las radiofrecuencias, aparentemente no lleva información y es susceptible de superponerse o combinarse como una señal útil.” (Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT), 1990, p. 16).

Según lo mencionado, entonces el ruido causa la interferencia en las comunicaciones de una señal útil lo que degrada la calidad de la transmisión. El ruido puede generarse aleatoriamente en nuestros sistemas receptores, siendo algunas de sus causas la combinación de diversos aparatos electrónicos, el encendido de motores de combustión interna, maquinaria eléctrica como taladros, que no son intencionados.

- f. Ruido Térmico.** El ruido térmico, también conocido como el ruido de Johnson-Nyquist se debe básicamente a la agitación aleatoria térmica de los electrones comprendidos en los hilos conductores en todos los sistemas de transmisión y recepción. Dicho movimiento de electrones puede crear en cierto momento una diferencia de potencial y generar una corriente mínima cuya potencia se describe en la Ecuación 9.

$$N = K_B T \Delta f$$

Ecuación 9

Donde:

N: Ruido térmico (Watts)

K_B: Constante de Boltzman (1.38 × 10⁻²³ Joules/Kelvin)

T: Temperatura (Kelvin)

Δf: Ancho de banda (Hz)

Dicha potencia N es directamente proporcional a la temperatura y al ancho de banda, tiene una distribución uniforme en todo el espectro por lo que también se categoriza como ruido blanco.

La Figura 16 ejemplifica la transmisión de datos, podemos observar los datos en código binario, luego en forma de señal, la señal de ruido que se acopla, los instantes de muestreo para decodificar la señal recibida y finalmente una comparativa entre los datos recibidos y los transmitidos, debido al ruido se presentan bits errados y en vez de recibir un 0 se recibe o interpreta como un 1 y viceversa.

g. Unidades de Medida.

- Watts o Vatios (W): Es la cantidad de energía expresada en Joules o Julios (J) por segundo, también llamada unidad de potencia eléctrica.

- Decibelios (dB) : En RFID esta unidad es muy importante ya que expresa la ganancia de una antena.

Es una unidad logarítmica que mide la relación entre la potencia de interés (P_1) y una potencia de referencia (P_2), la fórmula está presentada en la Ecuación 10.

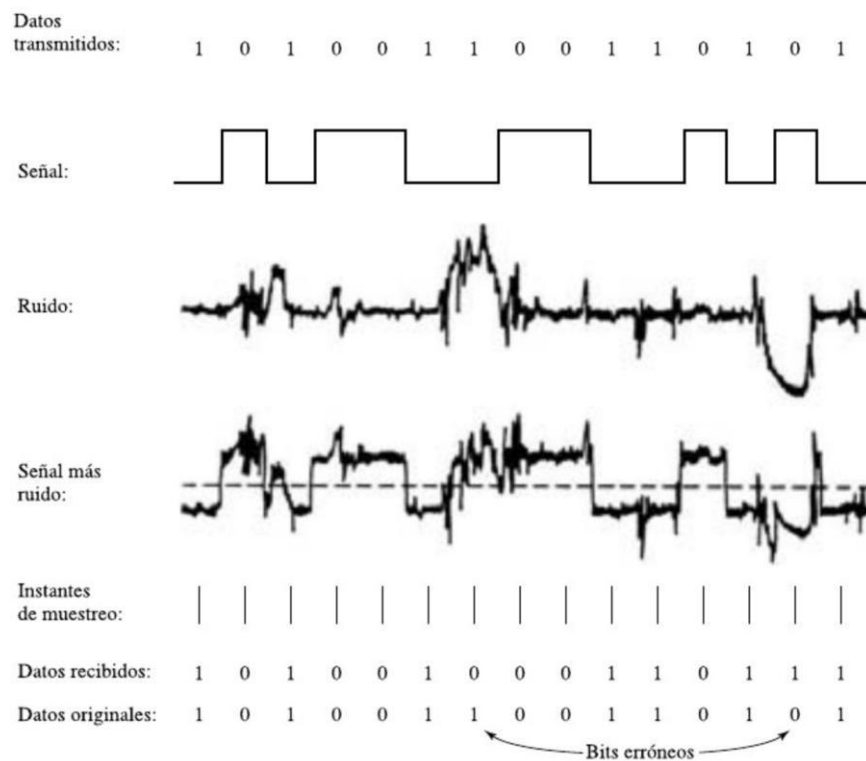
$$dB = 10 \log_{10} \frac{P_1}{P_2} \quad \text{Ecuación 10}$$

Debido a que no tienen dimensiones puede tomarse para expresar diversas unidades de medida como los Decibelios Vatios (dBW) o los Decibelios-mili vatios (dBm).

Existen notaciones especiales como los dB_i que son los decibelios medidos con respecto a una antena isotrópica.

Figura 16

Ejemplo de cómo una señal con ruido altera la información recibida de la transmitida



Nota. De *Comunicaciones y redes de computadores (7ma ed.)* (p. 83), por W. Stallings, 2008, Pearson-Prentice-Hall.

II.3.2.2.Lectores.

a. Según su Fabricación/Ensamblaje. Principalmente son 2 tipos los lectores caseros y los lectores de uso comercial.

- **Lectores Caseros.** Son lectores o módulos de lectores RFID de diferentes frecuencias, su uso es principalmente educativo y para aprendizaje ya que se diseñan para ser compatibles con microcontroladores comerciales de bajo consumo (Arduino, PIC, etc). Generalmente son con fines estudiantiles, no tienen diseños de protección o estandarización como se puede apreciar en la Figura 17.

Figura 17

Módulo Lector 13.56MHz RC522 para Arduino



Nota. De *Módulo Lector RFID 13.56MHz RC522* [Fotografía], por Arduino, 2023, Naylamp Mechatronics (<https://naylampmechatronics.com/rfid-nfc/80-modulo-lector-rfid-1356mhz-rc522.html>). CC BY-SA 3.0

- *Lectores Con Uso Comercial.* Lectores ensamblados por un algún fabricante (Impinj, Zebra, etc), está destinado a la venta por lo que son estandarizados en grados de protección y regulados en cuanto a transmisión de potencia, ver Figura 18.

Figura 18

Lector Zebra RFID UHF 902-928 MHz



Nota. De *RFID UHF RFD40* [Fotografía], por Zebra Technologies, 2024, Zebra Technologies (<https://www.zebra.com/la/es/products/rfid/rfid-handhelds/rfd40.html>). Derechos de autor 2025 por Zebra Technologies Corporation y/o sus afiliados.

b. Según su Portabilidad.

- Lectores Fijos. Generalmente usados por los grandes almacenes, estos equipos se usan para monitorear ciertas áreas de interiores/ exteriores debido a que están instalados en una misma posición.
- Lectores Portátiles. Como su nombre indica, es un dispositivo que puede ser portado de un lugar a otro y generalmente están alimentados por baterías o pilas. Su rango de lectura debido a la naturaleza de sus materiales es de alcance medio.
- Lectores USB. El mayor ejemplo serían los lectores NFC que son de corto alcance.

c. Según su Aplicación. La Tabla 3, resumen las aplicaciones de los lectores según su banda de acción.

Tabla 3

Características de Las Bandas de Frecuencia RFID

Banda de frecuencia	Rango de lectura	Velocidad	Interferencia	Aplicación
Baja Frecuencia (LF)	10cm	Lenta	Resiste	Control de acceso y de animales
Alta Frecuencia (HF)	10 cm - 1m	Mediana	Susceptible Metal	Ticketeras, pagos y transferencia de datos
Ultra Alta Frecuencia (HF) Pasivas	1m - 12m	Alto	Susceptible Metal y líquidos	Control de acceso, activos, vehicular
Ultra Alta Frecuencia (HF) Activas	10 m - 150m	Alto	Susceptible Cemento/Hormigón	Industria automotriz Control de gran flujo de personal, activos

Nota. Elaboración Propia.

II.3.2.3.Etiquetas.

Principalmente compuesta de un sustrato que normalmente es plástico, una pequeña antena de metal hecho a medida de la frecuencia deseada y un chip microprocesador dotado de una memoria que guarda los datos o información necesaria para la identificación.

Se pueden clasificar en 3 tipos: pasivas, es decir no tienen una fuente de alimentación propia, sino que se activan gracias a que captan la potencia de la antena que emite el lector, semi-activas, cuentan con una pequeña fuente de alimentación reservada para el chip pero no para la transmisión, y las etiquetas activas, debido a que dispone de fuente de alimentación mayor, se utiliza esta energía para emitir las señales que serán captadas por la antena, también posee un mayor rango de lectura sin embargo los costes son más elevados.

Hoy en día se ven diversos modelos de etiquetas que cubren diferentes necesidades como por ejemplo la Figura 19 muestra una etiqueta para el rubro textil, estas etiquetas se elaboran de un material resistente a las lavadas. La duración estimada de las etiquetas varía mucho de su uso y exposición al ambiente, pueden fallar también por defectos en la fabricación o desgaste natural de los componentes.

- **Estándares UHF.** En sus inicios las etiquetas no tenían un estándar establecido, y aunque en la actualidad sigue siendo así en gran medida por cada fabricante, existen organizaciones como “ISO (International Organization for Standardization), IEC (International Electrotechnical Commission), ASTM (American Society for Testing and Materials) o EPCglobal (Asociación entre EAN International y GS1 Uniform Code Council)” (FQ Ingeniería Electrónica, 2014) que han establecido diversos estándares acorde a la necesidad local o regional , estándares como ISO 180000 o EPC UHF class1 Gen2, definen parámetros y protocolos de comunicación similares para las diferentes bandas y su aplicación

en el campo, revolucionando la estandarización hacia un sistema global progresivamente.

Figura 19

Etiqueta RFID usada en ropa



Nota. De *What is RFID used for on clothes?*[Fotografía], por Ascend IOT, 2023, Ascend IOT (<https://www.as-rfid.com/info/what-is-rfid-used-for-on-clothes-79868102.html>). Derechos de autor 2025 por Shenzhen Ascend IOT Technology Co., Ltd.

Hoy en día, el uso de estos estándares es esencial debido a que permiten el desarrollo y funcionamiento para la comunicación diaria, especialmente en zonas urbanas con alta densidad de población. Empero, cada país opera según sus reglas debido a que no hay un consenso mundial establecido y el uso de todas las bandas puede o no estar restringido o licenciado en todo el mundo.

Por ejemplo, tenemos a European Telecommunications Standards Institute (2023) cuya normativa EN 302 208 establece que el PIRE

no debe exceder 2W para las bandas bajas de 865 a 868 MHz. (p. 16)

Para Estados Unidos está la Comisión Federal de Telecomunicaciones, y para la gran mayoría de países de Sudamérica la UHF está regulada en la banda 902 al 928 MHz con un máximo de potencia de 4W PIRE.

En el Perú, el organismo encargado de la regulación está dado por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC), determina las bandas permitidas sin licencia, acorde a la Resolución Ministerial N° 199-2013-MTC/03:

- 915-928 MHz, 916-928 MHz.
- 2400-2483.5 MHz.
- 5150-5250 MHz, 5250-5350 MHz.
- 5470-5725 MHz y 5725-5850 MHz.

Teniendo un PIRE de no más de 4W es decir 36dBm. (MTC, 2013, p. 493083)

II.3.2.4.Unidad de Procesamiento.

Es necesario disponer de una unidad de procesamiento que realice las actividades de cálculos y coordinación de todos los flujos desde la entrada, transformación y salida de la información.

Una vez obtenida la lectura de la etiqueta por lector esta información vendrá en ceros (0) y unos (1) como se muestra en la Figura 20, y es necesario poder transmitirlos mediante un orden sistemático como lo es el protocolo RS232 a una unidad de procesamiento como lo es Raspberry Pi para que transforme estos datos y pueda organizarlos de tal manera que sea entendible por cualquier humano.

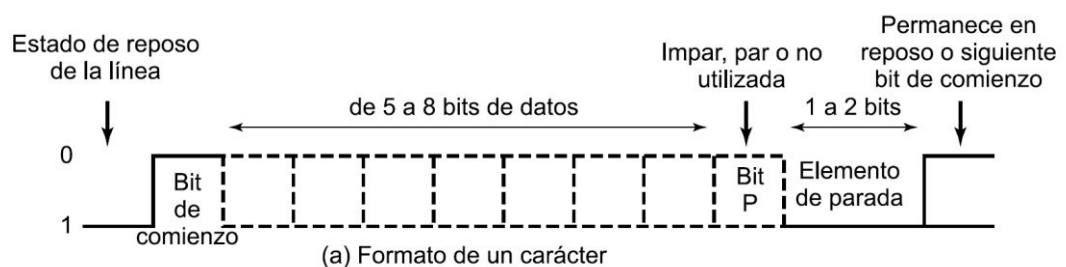
- a. Protocolo RS232.** Este protocolo es a su vez una interfaz que define los parámetros, orden, velocidades, niveles de voltaje en los

que los datos binarios se transmiten desde un DCE (Data Communication Equipment), es decir un módem, hacia un DTE (Data Terminal Equipment), una computadora, sin embargo, también se puede realizar la conexión entre computadoras en este caso del lector hacia el Raspberry Pi. Se publicó en 1962 sin embargo todavía sigue presente debido a su característica resistividad al ruido.

El tipo de comunicación es serial y la transmisión se da por paquetes de datos que son comúnmente de 8 bits, cuya unidad de velocidad de transmisión son los baudios y la información está en código ASCII, teniendo bits de inicio, parada y paridad (para detección de errores) adicionales como se observa en la Figura 20. Sin embargo, como toda tecnología tiene limitaciones como la velocidad máxima es baja e inadecuada para grandes volúmenes de datos, así mismo carece de distancia por lo que su alcance es de entre 15 a 20 metros aproximadamente.

Figura 20

Trama de un byte en RS232



Nota. De *Comunicaciones y redes de computadores (7ma ed.)* (p. 180), por W. Stallings, 2008, Pearson-Prentice-Hall.

- b. Raspberry Pi.** Pensada originalmente en 2012 como una computadora modular y de una sola tarjeta para la educación en

lugares de difícil acceso, hoy en día es la computadora más usada por ingenieros, profesores y hasta niños, por su gran versatilidad, rendimiento y bajo costo, ver Figura 21.

La Raspberry Pi es un mini ordenador completo que dispone de una placa de reducidas dimensiones, del tamaño de un paquete de tabaco. Lleva todas las conexiones habituales de un ordenador estándar: puertos USB, conexión a internet y de red, salidas de audio y video, etc. Con los periféricos necesarios -ratón y teclado- y, gracias a su salida de video HDMI, lo podemos conectar a un televisor o un monitor y utilizarlo como un ordenador de sobremesa o como un centro multimedia .(Lucas Flores, 2019)

Figura 21

Raspberry Pi 4 Modelo B



Nota. De Raspberry Pi 4 Modelo B [Fotografía], por Raspberry Pi, 2024, Naylamp Mechatronics, (<https://naylampmechatronics.com/raspberry-pi/53-raspberry-pi-b-plus.html>). CC BY-ND

Aquí es donde se da el tratamiento adecuado de la trama de bits que proviene del lector, parseando la información, es decir separar en campos y traducirla a un lenguaje entendible por el usuario final.

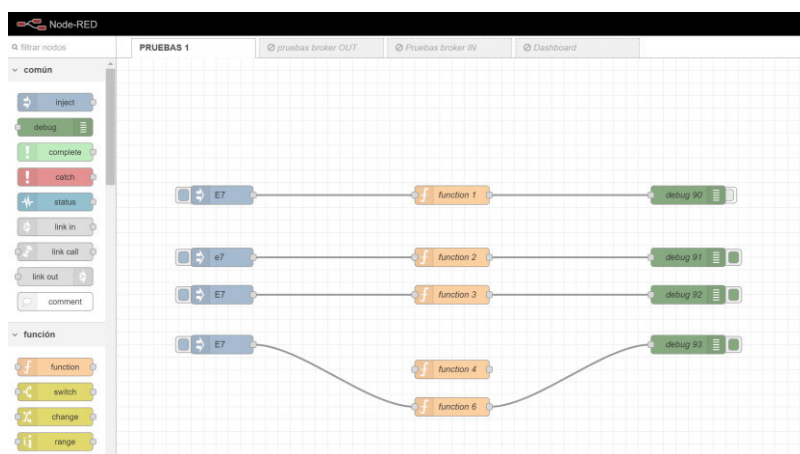
Usualmente los lectores comerciales siguen su propio estándar en el orden de la trama es decir información como el número de serie, numero de etiqueta y valores medidos pueden ir en este orden o en un orden distinto.

- c. Node-RED.** “Una herramienta basada en la programación de flujo (...) es una forma de describir el comportamiento de una aplicación como una red de cajas negras o “nodos”, como se los llama en Node-RED. (...) Dicha programación es visualmente más atractiva haciéndolo accesible a una gama más amplia de usuarios.” (OpenJS Foundation & Contributors, s.f.)

Node-RED es fácil de instalar en la Raspberry Pi, y mediante una página web (ver Figura 22) se puede acceder al editor a programar (programación basada en JSON) los nodos, para decodificar la información recibida por el lector en tiempo real.

Figura 22

Módulo de edición local en Node-RED



Nota. Elaboración propia

Aparte del editor, este programa nos ofrece una ventana llamada DashBoard, en el cual es posible visualizar de manera gráfica los

datos parseados, la Figura 23 muestra unas gráficas indicadoras del nodo Gauge, permitiendo el monitoreo de variables de estudio.

Además de recibir los datos en tiempo real, también puede distribuirlos y enviarlos a la nube para monitoreo remoto a través de internet.

II.3.2.5.Unidad de Difusión. Su principal función es la de enviar información de manera simultánea a diferentes receptores o destinatarios.

Esta unidad viene a ser parte de la programación de Node – RED, sin embargo, abarca conceptos de diferente envergadura. Como se ha mencionado en el subcapítulo II.3.2.4.3, esta difusión se da a través de la nube que mediante ciertos protocolos como el MQTT se puede conseguir que el usuario final monitoree en tiempo real independientemente del lugar que esté, siempre y cuando esté conectado a internet.

- a. **La nube (Plataforma IoT).** La definición de la nube puede parecer poco clara, pero, básicamente, es un término que se utiliza para describir una red mundial de servidores, cada uno con una función única. La nube no es una entidad física, sino una red enorme de servidores remotos de todo el mundo que están conectados para funcionar como un único ecosistema. Estos servidores están diseñados para almacenar y administrar datos, ejecutar aplicaciones o entregar contenido o servicios, como streaming de vídeos, correo web, software de ofimática o medios sociales. En lugar de acceder a archivos y datos desde un equipo personal o local, accedes a ellos online desde cualquier dispositivo conectado a Internet, es decir, la información está disponible dondequiera que vayas y siempre que la necesites.(Microsoft, 2024) (ver Figura 24)
- b. **MTTQ y Broker MQTT.** Message Queuing Telemetry Transport o MQTT es un protocolo de ligero de comunicación usado para transmitir datos de telemetría, a través de un publicador (emisor) y

un suscriptor (receptor), esta comunicación puede ser bidireccional, sin embargo, dependerá de la configuración de los equipos.

Figura 23

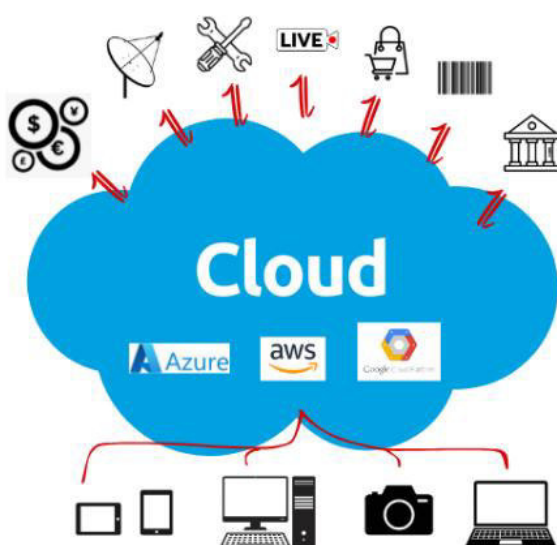
Módulo DashBoard en Node-RED



Nota. Elaboración propia

Figura 24

Descripción gráfica de la nube



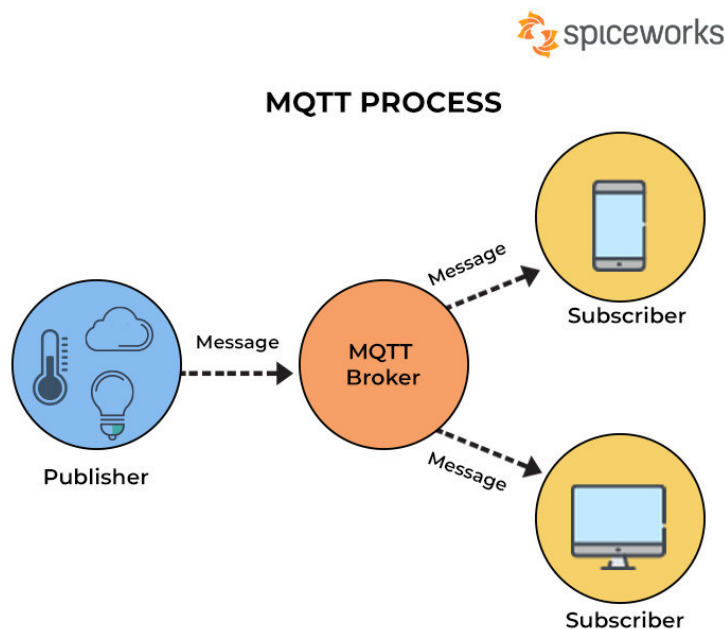
Nota. Elaboración propia

El Broker MQTT no es más que un servidor local o en la nube a donde apuntar los datos que se desea transmitir, su función recepcionar los datos del publicador y repartirlos a los suscriptores

El protocolo MQTT se está convirtiendo en el estándar para la mensajería del internet de las cosas por lo que es muy fácil de implementar, escalable, seguro y eficiente. La Figura 25, representa el esquema del protocolo MQTT donde se tienen del lado izquierdo por ejemplo los sensores IoT que publican los datos recolectados, en el medio protocolo MQTT y por el lado derecho los celulares/laptops que son los suscriptores o receptores de datos.

Figura 25

Representación gráfica de protocolo MQTT



Nota. De A Diagrammatic Representation of the MQTT Process [Imagen], por Spiceworks, 2022, Spiceworks (<https://www.spiceworks.com/tech/iot/articles/what-is-mqtt/>). Derechos de autor 2025 por Spiceworks Inc.

II.4. Base Teórica de la Localización

Los autores Zafari et al. (2019) definen lo siguiente: “la localización en interiores es el proceso de obtener la ubicación de un dispositivo o usuario en un entorno o entorno interior”. (p. 1)

Por otro lado, Pankaj Shah (2020) en su tesis de grado, define la localización de interiores como:

Un método de localización para personas u objetos en un ambiente cerrado como edificios o habitaciones entre otros. Un sistema de GPS carece de precisión en estos ambientes, es mejor usar sensores anexados a una red para realizar a cabo esta tarea. (p. 1)

II.4.1. RSSI

Existen diversos métodos y técnicas que nos indican cómo podemos localizar un objeto, este estudio en concreto se basa en RSSI (Received Signal Strength Indicator) que en español significa Indicador de intensidad de la señal recibida, mide la potencia de la señal recibida a un receptor por un dispositivo como antenas, balizas, etiquetas entre otros.

Según Zafari et al (2019), la potencia de la señal que recibe el receptor se define en la Ecuación 11.

$$P_{recibida} = P_{TX} G_{TX}^2 G_{RX}^2 M \chi^2 \left(\frac{\lambda}{4\pi d} \right)^4 |H|^4 \quad \text{Ecuación 11}$$

Donde:

P_{TX} : potencia transmitida por el receptor

G_{TX} : ganancia de la antena del receptor

G_{RX} : ganancia de la etiqueta

M: coeficiente de modulación de retrodispersión

χ : : coeficiente de adaptación de polarización

λ : : longitud de onda de la señal portadora

d: : distancia entre la antena del receptor y la etiqueta

H: : factor de repuesta de canal

La unidad de medida son los dBm (decibelio-milivatios) y los valores serán siempre negativos de manera que mientras más cerca del valor 0 mejor será la señal, y mientras más lejos, más deficiente.

II.4.2. Sistemas de Localización:

Además, Zafari et al. (2019), introduce 3 tipos de sistemas asociados la localización de interiores y son las siguientes:

- Localización Basada en Dispositivo (LBD), es utilizado para la navegación en cualquier espacio, el dispositivo obtiene la ubicación relativa a través de nodos de anclaje o de referencia.
- Localización Basada en Monitores (LBM), utilizado principalmente para el rastreo de dispositivos en donde se obtiene la posición de manera pasiva con nodos ya sea de anclaje o de referencia.
- Detección de Proximidad, determina por estimación la distancia entre el dispositivo un punto de interés. (pp 1-2)

CAPÍTULO III: HIPÓTESIS Y VARIABLES

III.1. Hipótesis General

“El diseño e implementación de un sistema RFID de bajo costo permitirá el control de activos en tiempo real de un alojamiento vacacional temporal en el distrito de San Miguel.”

III.2. Hipótesis Específicas

- HE1: El análisis de las distintas alternativas de sistemas RFID permitirá la elección de una solución óptima un adecuado control de activos en tiempo real de bajo costo aplicable al alojamiento vacacional temporal en distrito de San Miguel.
- HE2: El diseño de un sistema RFID permitirá el control de activos de bajo costo en tiempo real para alojamiento vacacional temporal en el distrito de San Miguel.
- HE3: La implementación de un prototipo de un sistema RFID permitirá el control de activos en tiempo real de bajo costo para alojamiento vacacional temporal en el distrito de San Miguel.
- HE4: La validación del sistema RFID se hará de forma eficiente, permitiendo el control de activos en tiempo real de bajo costo para alojamiento vacacional temporal en el distrito de San Miguel.

III.3. Operacionalización de Las Variables

En la Tabla 4 se encuentra la relación de las variables de investigación, sus dimensiones y los indicadores de medición.

Tabla 4

Operacionalización de Las Variables

Variables	Definición	Dimensiones	Indicadores
Variable Independiente: Sistema RFID	Conjunto de dispositivos de bajo costo que realizan la localización y monitoreo de los activos	- Validez de la operación. - Arquitectura - Algoritmo de programación - Escalabilidad - Seguridad - Calidad en la localización	• I1: Confiabilidad y validez del sistema RFID • I2: Arquitectura del sistema de RFID en tiempo real
Variable dependiente: Localización y monitoreo de activos (Etiquetas)	Resultado de aplicar un sistema de medición de localización y monitoreo a los activos.		• I3: Algoritmo del sistema RFID • I4: Seguridad del sistema RFID • I5: Eficacia y eficiencia del control

Nota. Elaboración propia

CAPÍTULO IV: MATERIALES Y MÉTODOS

IV.1. Metodología de la Investigación

La naturaleza del presente proyecto de investigación tiene por objeto “medir, tener instrumentos para consultar con una muestra representativa y obtener datos que sean generalizables”. (Quevedo, 2021)

Por consiguiente, la metodología que se plantea en el enfoque cuantitativo que se establece apropiada cuando queremos estimar magnitudes y ocurrencia de los fenómenos y probar hipótesis. (Hernández-Sampieri y Mendoza, 2018)

La recolección y análisis de datos del sistema RFID se da a través de la observación y la experimentación con instrumentos de medición estandarizados lo que permitirán una serie de conclusiones donde se definirá la aprobación o rechazo de las hipótesis presentadas dotándolo de validez científica.

IV.2. Tipo de Investigación

Acorde en el libro de Hernández-Sampieri y Mendoza (2018), “la investigación científica cumple con 2 propósitos fundamentales: a) producir conocimiento y teorías (investigación básica) y b) resolver problemas (investigación aplicada)”. (p. xxxiii)

Dado el planteamiento del problema, se desarrolla una investigación aplicada para solucionar la necesidad de seguridad de los activos en determinada área (alojamiento vacacional temporal), “enfocándose en la búsqueda y consolidación del conocimiento y, por ende, el enriquecimiento cultural y científico” (Biblioteca at Duoc UC, s.f.).

IV.3. Alcance de la Investigación

La profundidad o alcance de la presente investigación será un estudio descriptivo el cual nos permite especificar y determinar las características o propiedades del sistema RFID a analizar, mediante las mediciones de las variables en el contexto que en este caso sería el alojamiento vacacional temporal.

IV.4. Diseño de la Investigación

“El término diseño se refiere al plan o estrategia concebida para obtener la información que deseas con el propósito de responder al planteamiento del problema.” (Hernández-Sampieri y Mendoza, 2018)

El diseño de la investigación es cuasiexperimental que servirá de guía para la recolección, medición y análisis de los resultados de las variables a manipular: una variable independiente (sistema RFID) y una variable dependiente (localización y monitoreo de 6 activos) que está predefinida antes del experimento debido a que se realizan pruebas en campo.

Se medirá el efecto que tiene el sistema RFID para lograr el control sobre los 6 activos, evaluando aspectos como el grado de validez interna, escalabilidad, seguridad, y calidad de la localización.

IV.4.1. Etapas de la Investigación

En el proceso de investigación se siguieron las etapas:

1. Idea y planteamiento del problema: proceso descrito en el **Capítulo 1.**
2. Revisión de la literatura: proceso descrito en el **Capítulo 2.**
3. Elaboración de las hipótesis y definición de variables: proceso descrito en el **Capítulo 3.**
4. Visualización del alcance del estudio: Estudio Descriptivo. **Capítulo 4.**
5. Desarrollo del diseño de investigación. **Capítulo 4.**
6. Definición y selección de la muestra, unidad de análisis: 6 etiquetas. **Capítulo 4.**
7. Recolección de los datos. **Capítulo 4.**
8. Análisis de los datos. **Capítulo 4.**
9. Elaboración del reporte de los resultados. **Capítulo 5.**

IV.4.2. Criterios de Diseño

Al ser un diseño cuasiexperimental se han planteado algunos criterios establecidos acorde al área física de evaluación y al presupuesto:

1. La localización debe ser medible en toda el área del alojamiento.
2. Inversión de bajo costo: aprovechar al máximo los recursos que se invertirán en el proyecto.
3. Presentación de información factible y de fácil entendimiento al personal monitor.
4. El monitoreo debe estar disponible de forma remota y accesible las 24 horas del día.

IV.4.3. Descripción y Características Del Sistema Propuesto

Se propone el desarrollo e implementación de un sistema RFID que permita la localización de activos en tiempo real y que sea de bajo costo. Dicho sistema parte de una inspección del área de trabajo y de los activos a los

cuales se le aplicará el control, con apoyo de la literatura revisada y con los criterios a tomar por parte del cliente.

La arquitectura del sistema RFID está diseñada según lo siguiente:

- 01 Antena omnidireccional.
- 01 Lector RFID 2.4G
- 06 Etiquetas o tags activas.
- 01 Procesador de datos Raspberry Pi.

La medición de la localización se hace en un periodo de tiempo establecido (muestreo), con un equipo y una lógica que sea capaz de interpretar los datos de entrada y de responder adecuadamente ante los estímulos que se puedan presentar.

Mediante esta estrategia de localización es posible enviar los datos a un servidor en la nube y acceder al monitoreo en tiempo real desde cualquier parte del mundo con acceso a internet.

IV.5. Población o Unidad de Análisis

El proyecto de investigación se desarrolla en un alojamiento vacacional temporal en el distrito de San Miguel, donde se encuentran diversos activos como el mobiliario, electrodomésticos, juguetes, aparatos de tecnología y seguridad. Por lo tanto, se tomará como población una muestra de 6 activos debidamente etiquetados los cuales consisten en:

- 01 televisión,
- 01 lavadora,
- 01 refrigeradora,
- 01 tableta electrónica,
- 01 laptop
- 01 microondas.

Dichos activos son escogidos debido a la susceptibilidad que presentan para su sustracción no deseada según el reporte periodístico de Rojas Berríos. (2024)

IV.6. Técnicas e Instrumentos de Recolección de Información

Se definen las 3 siguientes técnicas para recolección de información, observación directa, entrevistas y revisión de la documentación.

- **Observación Directa.** Se recolecta y registra información a través de la observación directa del fenómeno de interés, plasmándolo en un proceso sistematizado para su tratamiento y análisis posterior. Se tiene en cuenta el nivel de participación del observador para forzar y llevar al límite el sistema analizado.
- **Entrevistas.** La entrevista es un interrogatorio con contacto interpersonal que se realiza al informante clave ya sea escrito o hablado con el objetivo de recolectar información del desempeño del proyecto. Se puede hacer de 2 formas: conducida donde previamente se ha elaborado un cuestionario de preguntas, y no conducida donde el entrevistado expresa de manera libre su experiencia. Con la entrevista se espera tener exhaustividad, precisión, exactitud, confidencialidad.
- **Revisión de documentación: hojas de datos, manuales, etc.** Permite entender mejor el diseño del sistema y sus componentes o variables, de esta manera se puede acceder a recolectar información más sistematizada.

IV.6.1. *Informante Clave:*

Taylor y Borgan (1987) ,en su libro de metodología, señalan que un informante clave es aquella persona capaz de aportar información sobre el elemento de estudio. Es, por tanto, la persona que facilitará la comprensión del estudio con un enfoque cerca a la realidad.

Para esta labor se tiene por informante a Pilar Gill dueña del alojamiento vacacional temporal, responsable directo de los bienes y activos del departamento.

El rol desempeñado es:

- Establecer los objetivos del proyecto en curso.
- Establecer los parámetros y criterios de operación del sistema.
- Durante la implementación, brindar información sobre ajustes en el sistema.
- Evaluar el sistema implementado y verificar el cumplimiento de los objetivos.

IV.7. Desarrollo e Implementación de la Propuesta

En esta etapa se consta con la realización de las actividades definidas en la planificación, se describirán las propuestas del sistema RFID, la instalación y el monitoreo y control.

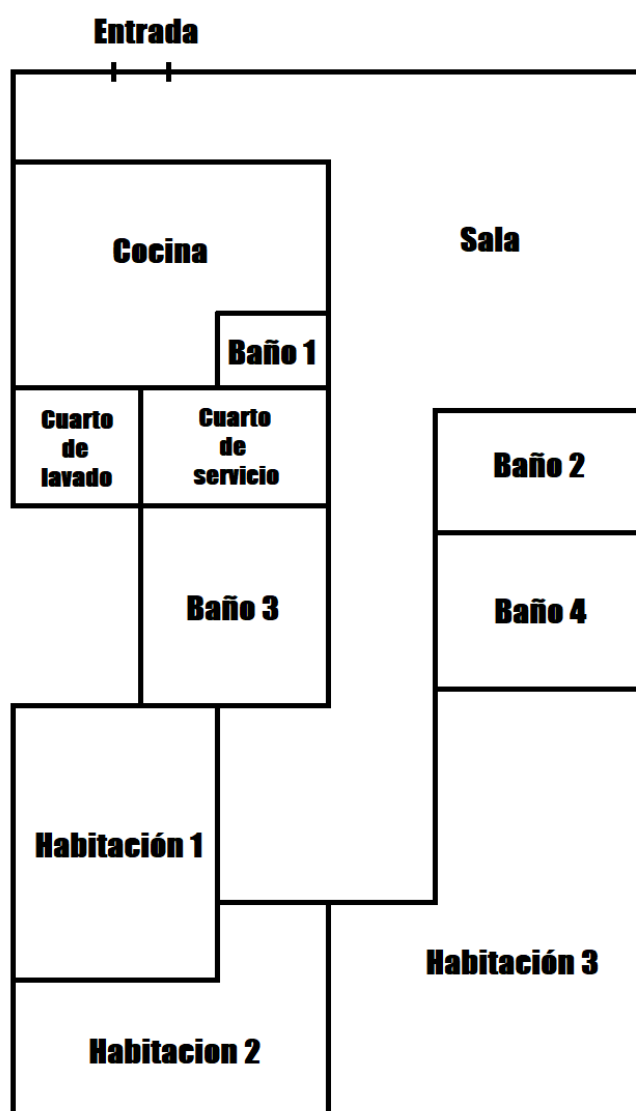
IV.7.1. *Etapas 1: Dimensionamiento Del Área de Trabajo*

Se realiza la inspección y medición del área de trabajo que consta de un departamento de 01 piso de 108 m² ubicado en el distrito de San Miguel, ver Figura 26. Dicho alojamiento consta de lo siguiente:

- 03 habitaciones.
- 04 baños.
- 01 sala.
- 01 cocina.
- 01 centro de lavado.
- 01 cuarto de servicio.

Figura 26

Esquema del Alojamiento Vacacional Temporal



Nota. Elaboración propia

El departamento consta de bloques hormigón seco principalmente el cual según Tabla 5 posee una permitividad eléctrica de 1-10 lo que causa una reducción de la intensidad del campo eléctrico relativamente considerable y conductividad eléctrica $10^{-3} - 10^{-2}$ de aproximadamente, significa que es un buen aislante de los electrones que lo atraviesan.

Tabla 5

Lista de permitividad ϵ_r y Conductividad σ de Materiales

Material	Permitividad ϵ_r	Conductividad σ
Aire	1	0
Asfalto Seco	2-4	$10^{-2} - 10^{-1}$
Asfalto Húmedo	6-12	$10^{-3} - 10^{-1}$
PVC	3	-
Hormigón Seco	1-10	$10^{-3} - 10^{-2}$
Hormigón húmedo	10-20	$10^{-2} - 10^{-1}$
Tuberías metálicas	1	100000
Agua	81	$10^{-6} - 10^{-2}$

Nota. Adaptado de Estudio en Estructuras de Hormigón Armado Mediante el Uso de un Radar de Penetración Terrestre (p.55), por Gacitúa Lovera, 2006, Universidad Austral de Chile.

IV.7.2. Etapa 2: Selección de Componentes

IV.7.2.1. Selección de Lectores y Antenas. De la amplia gama de lectores RFID comentados en el sub capítulo II.3.2, podemos acotar el margen a los lectores UHF destacados por mayor cobertura y rapidez en la

respuesta de lectura de las etiquetas. Las antenas y etiquetas dependen de la frecuencia del lector que utiliza.

Mencionado lo anterior, se optó por la compra de un material comercial debido al margen de tiempo de fabricación y desarrollo del mismo resultan altos cuando ya se tiene un mercado emergente y especializado para adecuar la solución del planteamiento del problema.

Se manejaron tres opciones con los siguientes equipos:

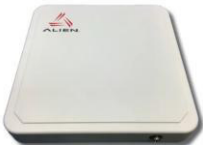
- a. **Lector UHF Speedway Revolution R420 + Antena S8655P + Etiquetas UHF.** La Figura 27. muestra una arquitectura en 3 etapas: lector, antenas y etiquetas pasivas.

El lector es R420 de la marca IMPINJ es muy confiable, de alta capacidad de procesamiento industrial, sobre todo, para grandes almacenes, sin embargo, el precio ronda a partir de los 3500 soles sin contar con los demás accesorios.

En este tipo de tecnología es muy común encontrar antenas separadas de los lectores ya que son adaptables y está destinados a localización tanto interna como externa, de allí la necesidad del grado por protección IP54 y su precio es de 700 soles aproximadamente, cabe resaltar que el patrón de radiación de estas antenas es direccional con una apertura de 65°, muy acotada para lo que se requiere, así que es necesario más antenas para cubrir el área del alojamiento vacacional temporal, elevando el costo de esta opción en un 20% del precio total de este sistema por cada antena adicional.

El punto fuerte de ahorro son las etiquetas pasivas con un costo de 20 soles por 500 unidades, pero cabe resaltar el área destinada a estas etiquetas es muy variable, como superficies de plástico, metal, entre otro que podría afectar su rendimiento.

Figura 27**Arquitectura opción 1: sistema UHF 860-960MHz**

Lector UHF Speedway Revolution R420	Antena Alien ALR-8696-C	Etiquetas UHF
		
Tecnología: UHF Frecuencia: UHF ETSI 865-868 MHz, UHF FCC 902-928 MHz, UHF GX1 902-928 MHz, UHF GX2 902-925 MHz, UHF GX3 920-926 MHz, UHF Global 860-960 MHz Transmisión de potencia de salida: 33 dBm, 30 dBm Sensibilidad de recepción máxima: -92 dBm Fuente de alimentación: 802.3af PoE, 802.3af PoE+ Comunicación: Ethernet (TCP/IP) Puertos de Antena: 4 Puertos Tipo de conector de conexión: TNC Reverse Male ISO: ISO/IEC 18000-63, EPC Gen2 V2 Grado de protección: IP50 Temperatura de funcionamiento: -20 °C to 50 °C / -4 °F to 122 °F Tamaño: 214mm x 149mm x30mm - 8.43in x 5.87in x1.18in	Tecnología: UHF Frecuencia: UHF Global 860-960 MHz Ganancia: 8.5 dBi Potencia Máxima: 2 Vatios Polarización: Circular Derecha Angulo de Apertura: 65° Tipo Conector de Conexión: TNC Inverso Macho Grado protección: IP54 Temperatura funcionamiento: -25 °C to 70 °C / -13 °F to 158 °F Tamaño: 259mm x 259mm x34mm - 10.2in x 10.2in x1.34in	Tecnología: UHF Frecuencia: UHF 860-960 MHz Tipo: Pasiva Estándar: EPC Class 1 Gen2 ISO18000-6C Material: PET Rango de lectura: 1-10m (depende de lector y la antena) Dimensiones: 96x22mm

Nota. Gráfico elaborado a partir de información obtenida de ALIEN Technology (2014), IMPINJ (2021) y YANPODO RFID (s.f.).

b. Lector 2.4G MR7902 Omnidireccional + Etiquetas 2.4 GHz MR3848.

La arquitectura de la opción 2 es presentada en la Figura 28, en ella se ilustra el lector omnidireccional MR7902, el cual ya viene con una antena integrada a la estructura del lector, las etiquetas son activas y cuentan con un sistema inductivo y de seguridad de manera que alerta cuando son retiradas de la superficie a la cual está adheridas.

Figura 28*Arquitectura opción 2: sistema 2.4 GHz***Lector 2.4G MR7902 + Antena Omnidireccional****Etiquetas 2.4 GHz MR3848**

Tecnología: UHF
Frecuencia: 2440MHz
Ganancia: 3.5 dBi
Sensibilidad de recepción máxima: -90 dBm
Fuente de alimentación: 9-12V
Modulación: GFSK
Antena: integrada
Tipo de Antena: Activa
Comunicación: 4G and TCP/IP
Maximo Rango de lectura: 5m
Operating temperature: -20°C~60°C
Tamaño: φ168*51.5mm
Certificaciones: FCC, CE

Tecnología: UHF
Frecuencia: 2440MHz
Tipo: Activa - inductivo
Batería: 3 años
Material: ABS resistente al calor
Rango de lectura: 1-80m
Velocidad de Comunicación: 1Mbit/s
Intervalo de Transmisión: cada 3s
Dimensiones: 42*18.2*7.3mm

Nota. Gráfico elaborado a partir de información obtenida de Marktrace RFID, s.f.-a, s.f.-b

c. Lector 2.4G RF-RGY14P+Antena Omnidireccional+ Etiqueta 2.4GHz RF-TAK38P. La opción 3 es parecida a la opción 2 dado que utilizan 2.4GHz de frecuencia, sin embargo, las prestaciones que se observan en la Figura 29 son diferentes, el lector consta con una antena omnidireccional instalable y múltiples puertos para su acceso como el RS232, RS485, TCP/IP, Wiegand y 4G, además que las etiquetas están configuradas para su transmisión en 1s y tiene un mejor rango de alcance.

Figura 29**Arquitectura opción 3: sistema 2.4GHz**

Lector 2.4G RF-RGY14P + Antena
Onmidireccional



Tecnología: UHF
Frecuencia: 2.4GHz~2.5GHz(Factory setting)
Ganancia: 4 dBi
Sensibilidad de recepción máxima: -93 dBm
Fuente de alimentación: 12-24V
Modulación: GFSK
Antena: integrada
Tipo de Antena: Activa
Comunicación: RS232, 4G (opcional) y TCP/IP
Maximo Rango de lectura: 200m
Operating temperature: -20°C~60°C
Dimensiones: 145mm×125mm×25mm
Certificaciones: FCC, CE

Etiquetas 2.4 GHz 4GHz RF-TAK38P



Tecnología: UHF
Frecuencia: 2.4GHz~2.5GHz(Factory setting)
Tipo: Activa - inductivo
Bateria: 3 años
Material: ABS resistente al calor
Rango de lectura: 1-200m
Velocidad de Comunicación: 1Mbit/s
Intervalo de Transmisión: cada 1s
Dimensiones: 38mm×38mm×14mm

Nota. Gráfico elaborado a partir de información obtenida de RF-Identify (s.f.-a, s.f.-b)

Debido a las características ya mencionadas en las diferentes opciones y teniendo en cuenta la teoría y los criterios de diseño expuestos por el informante, se elige la tercera opción debido a los siguientes factores:

- El alcance de ganancia 4dbm y la polarización vertical omnidireccional abarcando una gran cobertura, a diferencia de la antena Alien ALR-8696-C de la primera opción cuya

polarización circular derecha le da una radiación en un ángulo de apertura 65°.

- El alcance de la distancia de lectura ~200 m aproximadamente
- La versatilidad del tipo comunicación que presenta el lector RS232, RS485 TCP/IP, Wiegand y 4G según convenga emplear, esto permite una posibilidad de escalabilidad/adaptabilidad en el futuro.
- Si bien es cierto la segunda y tercera opción presentan especificaciones similares en cuanto son etiquetas activas 2.4G, se eligió la última opción por el precio de las mismas y el impacto económico de todo el sistema en un 25%.

IV.7.2.2. Selección de Unidad de Procesamiento. Se elige el modelo Raspberry Pi 3B debido que es un equipo muy completo dado su tamaño, su gran capacidad de adaptación con lenguajes de programación como Linux, Node-RED, Json entre otros, versatilidad ofrecida en la conexión de puertos con múltiples entradas y salidas, así mismo conexión Wifi, ethernet, Bluetooth, USB, el entorno a nivel gráfico y de consola, capacidad de almacenamiento expandible a través de memorias SD, el constante soporte de la marca y apoyo de una comunidad colaborativa hacen posible que el rendimiento y eficacia y efectividad del proyecto sea viable. La Figura 30 muestra especificaciones técnicas más resaltantes la unidad Raspberry Pi 3B.

IV.7.2.3. Selección de Plataforma IoT. Dado que Node-RED recomienda el uso de diferentes entornos de programación para empezar a programar, y después de una breve investigación se conviene utilizar la plataforma Amazon Web Services (AWS) la cual ofrece ventajas como una extensa comunidad y un entorno amigable para instalar el servidor en la nube.

El servicio es gratuito por 1 año con 750 horas por cada mes, luego de ello se procederá a hacer un cobro de 0.0116 USD por hora.

Figura 30*Especificaciones Técnicas Raspberry Pi modelo 3B*

Procesador	Broadcom BCM2837B0, Cortex-A53 64-bit SoC @ 1.4GHz
Memoria	1GB LPDDR2 SDRAM
Conectividad	2.4GHz and 5GHz IEEE 802.11.b/g/n/ac wireless LAN, Bluetooth 4.2, BLE Gigabit Ethernet over USB 2.0 (maximum throughput 300Mbps) 4 puertos × USB 2.0
Acceso	Entradas extendida 40-pin GPIO
Almacenamiento	Expandible por tarjetas SD
Fuente de alimentación	5 V/2.5A DC via micro USB connector 5V DC via entrada GPIO Power over Ethernet (PoE)–enabled

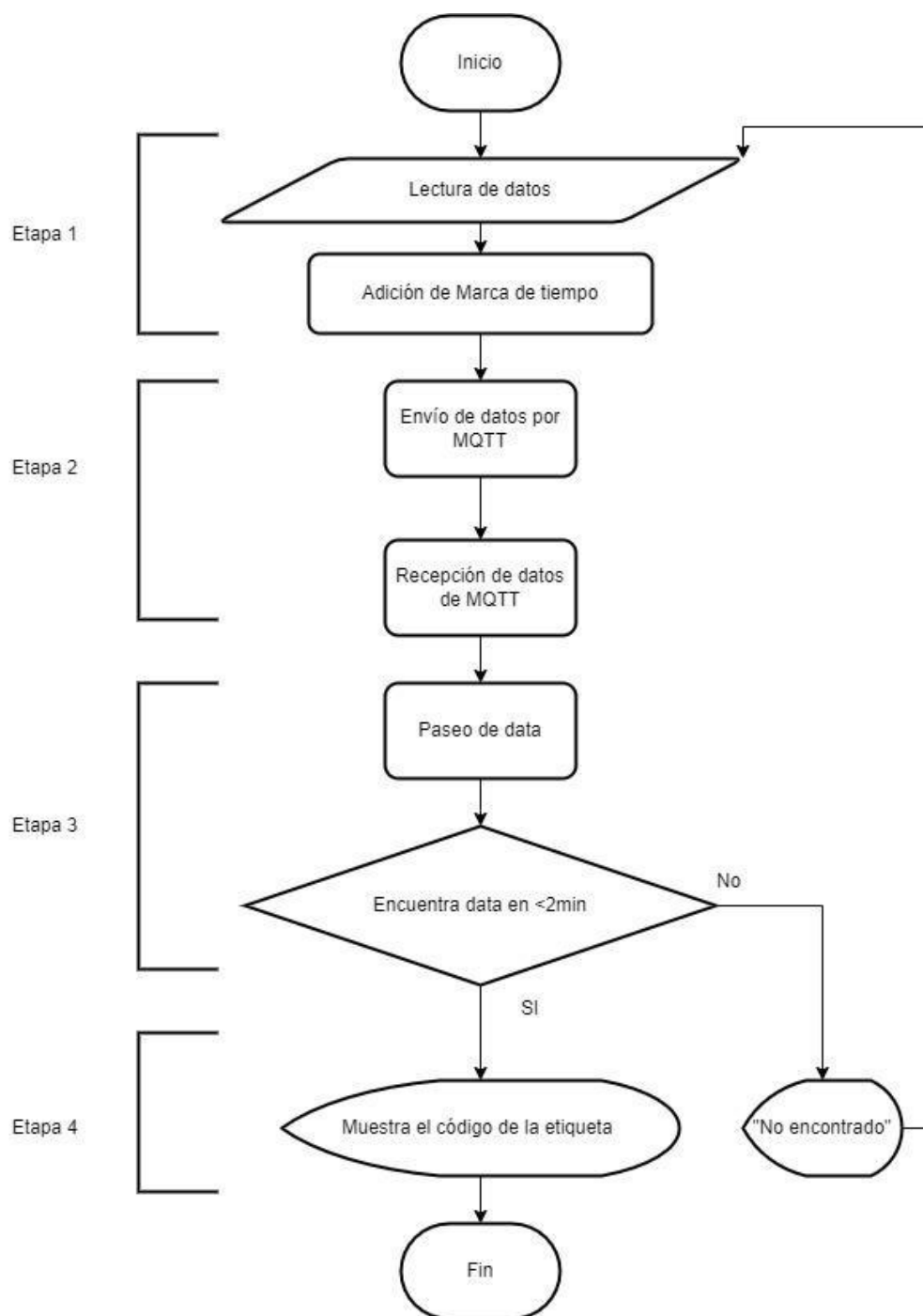
Nota. De *RASPBERRY PI 3 MODEL B+*, por Raspberry Pi, 2023, Raspberry Pi (<https://datasheets.raspberrypi.com/rpi3/raspberry-pi-3-b-plus-product-brief.pdf>). CC BY-ND

IV.7.2.4. Selección de Difusión. Se probaron diversos Brokers MQTT, sin embargo, elegido es HiveMQ por ofrecer versatilidad, seguridad, disponibilidad y ser de uso gratuito.

IV.7.3. Etapa 3: Diseño de Algoritmo

La Figura 31 ilustra el diagrama de flujo empleado con una separación de 4 bloques o etapas para llevar a cabo la lógica de localización en tiempo real.

IV.7.3.1. Etapa 1: Bloque de Captura de Datos. La data cruda se captura mediante la conexión RS232 del lector y se envía hacia el puerto USB del Raspberry Pi, para ello se configura el nodo serial RFID_serial dicho nodo se encuentra en la librería “node-red-node-serialport” en Node-RED.

Figura 31*Diagrama de flujo del sistema RFID**Nota.* Elaboración propia

En la Figura 32 se muestra la data cruda que constituye una cadena de texto (en adelante trama) en Node – RED que contiene números y letras separados por comas obtenidos de la lectura del puerto serial.

Figura 32

Data cruda obtenida a través del puerto serial RS232

```

msg.payload : string[43]
▶ "02,242309260003,AD0124760433230000000000,@"

4/8/2024, 21:38:41  nodo: debug 12
msg.payload : string[43]
▶ "02,242309260003,BD0224710133230000000000,@"

4/8/2024, 21:38:42  nodo: debug 12
msg.payload : string[43]
▶ "02,242309260003,C20124A30433230000000000,@"

4/8/2024, 21:38:42  nodo: debug 12
msg.payload : string[43]
▶ "02,242309260003,C50224E10033230000000000,@"

4/8/2024, 21:38:45  nodo: debug 12
msg.payload : string[43]
▶ "02,242309260003,BF02245A0133230000000000,@"

4/8/2024, 21:38:45  nodo: debug 12
msg.payload : string[43]
▶ "02,242309260003,AE0124760433230000000000,@"

4/8/2024, 21:38:46  nodo: debug 12
msg.payload : string[43]
▶ "02,242309260003,AE0224C10233230000000000,@"

```

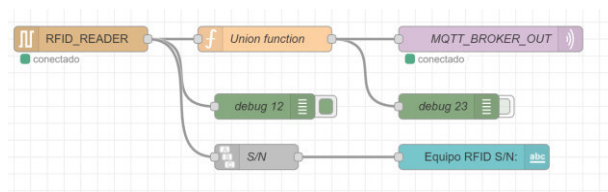
Nota. Elaboración propia

Luego es necesario agregar una marca de tiempo mediante un nodo llamado “union function” a cada trama entrante para saber el momento exacto de lectura.

Finalmente, se recoge toda la información de entrada en el nodo MQTT_OUT para ser publicada en el bróker. La Figura 33 ejemplifica el diagrama de nodos en esta primera etapa.

Figura 33

Primera etapa del algoritmo RFID



Nota. Elaboración propia

IV.7.3.2.Publicación y Suscripción de Variables. Se puede observar en la Figura 34 la configuración del Broker “broker.hivemq.com” con puerto.1883 asignándole un tema 5353, y un usuario y contraseña necesarios para realizar el enlace con la recepción de los datos.

Figura 34

Configuración del Broker HiveMQ en Node-RED



The image shows the configuration interface for an MQTT Broker in Node-RED. The main configuration is under the 'Conexión' tab, which includes the following settings:

- Servidor:** broker.hivemq.com
- Puerto:** 1883
- Conectar automáticamente:** ☒
- Utilizar TLS:** ☐
- Protocolo:** MQTT V3.1.1
- ID Cliente:** Dejar en blanco para auto generado
- Mantener activo:** 60
- Sesión:** ☒ Usar sesión limpia

On the right side, there is a secondary configuration panel with two tabs: 'Conexión' and 'Seguridad'. The 'Seguridad' tab is active, showing:

- Usuario:** Data
- Contraseña:**

Nota. Elaboración propia

Toda la trama pasa a ser publicada y solo puede ser leída por aquellos que se suscriban usando el topic o tema 5353 junto con el usuario y contraseña, por ello se configura el nodo MQTT_BROKER_IN acorde a la Figura 35.

IV.7.3.3.Bloque de Parseo de Tramas. Una vez recibida la data cruda junto con la marca de tiempo en una sola trama, se debe hacer un tratamiento, es decir, un parseo, cuyo protocolo está definido en los manuales del fabricante, generalmente está en código hexadecimal y es necesario aplicar ciertas reglas en el algoritmo para poder obtener la información deseada.

La Figura 36 ilustra el proceso desde que llega la trama, pasando por un conmutador que identifica la etiqueta leída y la manda al nodo RFDATA.

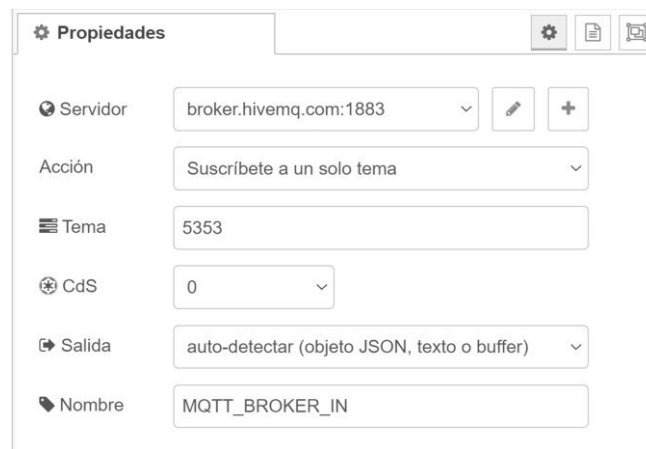
En la Figura 37 se muestra el nodo RFDATA cuya configuración nos permite parsear los datos y presentarlos de una manera más ordenada para la siguiente etapa.

Los datos obtenidos relevantes son los siguientes:

- RSSI: indicador de intensidad de la señal recibida.
- S/N: número de serie
- TAG_ID: número identificador de la etiqueta.

Figura 35

Configuración del nodo de entrada

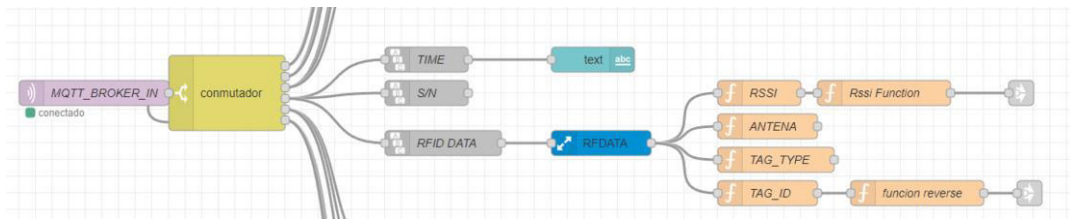


The image shows the configuration panel for the 'MQTT_BROKER_IN' node in Node-RED. The panel is titled 'Propiedades' and contains the following settings:

- Servidor:** A dropdown menu set to 'broker.hivemq.com:1883'.
- Acción:** A dropdown menu set to 'Suscríbete a un solo tema'.
- Tema:** A text input field containing '5353'.
- CdS:** A dropdown menu set to '0'.
- Salida:** A dropdown menu set to 'auto-detectar (objeto JSON, texto o buffer)'.
- Nombre:** A text input field containing 'MQTT_BROKER_IN'.

Nota. Elaboración propia

IV.7.3.4.Bloque de Despliegue Gráfico. Para el despliegue gráfico se hace uso de la librería “node-red-dashboard” y “node-red-contrib-ui-led” en Node-RED, en la Figura 38 se observa en concreto se utilizan los nodos Gauge, para mostrar los valores leídos de RSSI que varían entre -93dBm y 0dBm, y los nodos LED para saber si hay correcta recepción de la trama.

Figura 36*Bloque parseo de tramas*

Nota. Elaboración propia

Figura 37*Configuración del nodo RFDATA*

Editar nodo buffer-parser

Eliminar Cancelar Hecho

Propiedades

Name: RFDATA

Property: msg. payload

Specification: UI Specification

Byte swap: Swap none

Output property: msg. payload

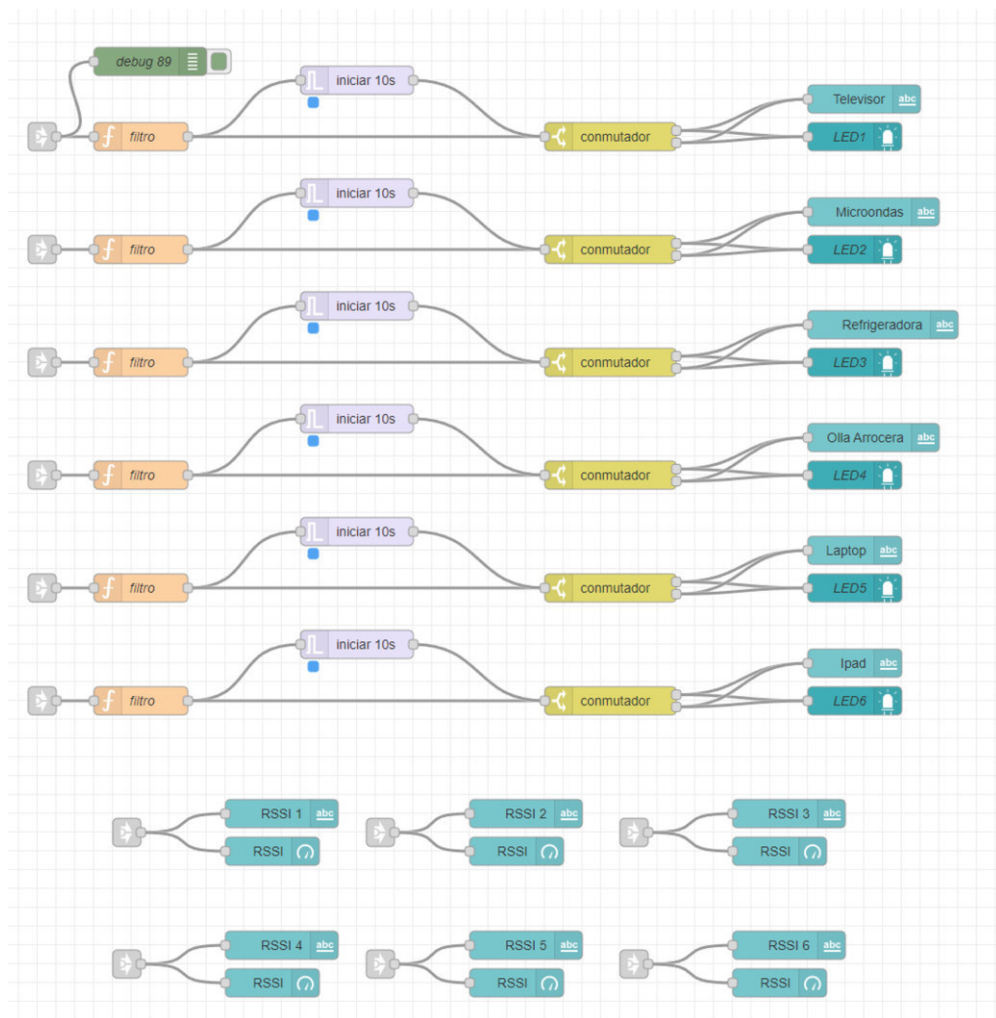
Output options: ☐ multiple results ☐ set topic ☐ fan out

Output: values only (array)

Type hex	Name RSSI	Length 1	Offset 0	No mask	x
Type hex	Name ANTENNA	Length 1	Offset 1	No mask	x
Type hex	Name TAG_TYPE	Length 1	Offset 2	No mask	x
Type hex	Name TAG_ID	Length 4	Offset 3	Mask 0x7FFF	x

Nota. Elaboración propia

Además, se añade un nodo de filtro y delay de 10s si la información de alguna y/o todas las etiquetas no es leída por el lector, dado el caso se mostrará un mensaje de “no encontrado” y el LED rojo junto con la última fecha y hora de lectura buena.

Figura 38*Bloque de despliegue gráfico**Nota. Elaboración propia*

IV.7.4. Etapa 4: Instalación Del Sistema

IV.7.4.1. Instalación Física. Definido el algoritmo se procede a la instalación física de los equipos, La arbitraria instalación de las etiquetas en los siguientes artículos: televisor, refrigeradora, tableta electrónica, microondas, lavadora y laptop.

En la Figura 39 se aprecia la instalación del Lector 2.4GHz RF-RGY14P, la antena y el Raspberry Pi 3B.

Figura 39

Sistema RFID instalado y puesto en marcha



Nota. Elaboración propia

IV.7.4.2.Instalación y Configuración de Raspberry Pi 3B. Para que el sistema RFID tenga acceso a internet y se lleve a cabo el algoritmo en Node-RED se llevaron a cabo los siguientes pasos:

- a. Se configuró la Raspberry Pi para que mediante Wi-Fi pueda tener acceso al internet.
- b. Se descargó la versión Kernel: 6.6 del S.O Raspian desde la página oficial Raspberry
- c. Se instaló Node-RED ejecutando el comando “bash <(curl -sL <https://raw.githubusercontent.com/node-red/linux-installers/master/deb/update-nodejs-and-nodered>)”

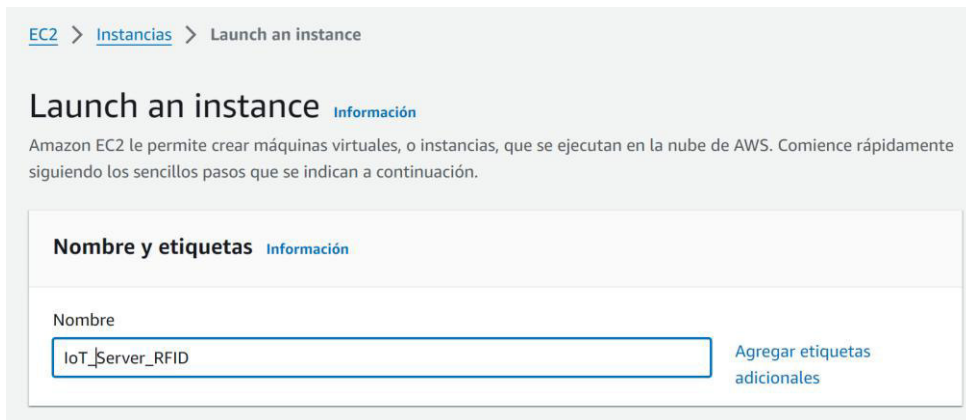
IV.7.4.3.Instalación de la Plataforma IoT. La instalación de una Plataforma IoT es básicamente la instalación de una máquina virtual en la nube a través de Amazon Web Services (AWS). Para ello recomienda usar EC2 (Elastic Computer 2) que es un servidor escalable y altamente configurable en sistema operativo, RAM y ROM acorde a las necesidades requeridas por los usuarios.

a. Lanzamiento de la Instancia EC2 en AWS. Para lanzar o instalar una instancia EC2 se debe acceder con una cuenta a la plataforma de AWS, y seguir los siguientes pasos:

1. Desde el panel principal elegir EC2 y luego en Lanzar instancia.
2. Se abrirá una nueva página para la configuración de la misma.
3. El nombre del servidor es IoT_Server_RFID como se muestra en la Figura 40.

Figura 40

Creación del nombre de una instancia en AWS



Nota. Elaboración propia

4. La máquina virtual que se utilizará es Ubuntu Server 24.04 LTS x64 bits según la Figura 41, por su asequibilidad, capacidad de configuración y ligereza.
5. La capacidad de memoria de la instancia depende de los requisitos de computacionales que utiliza el servidor. Se observa en la Figura 42 la elección de “t2.micro” por ofrecer 1 año gratuito.

Figura 41

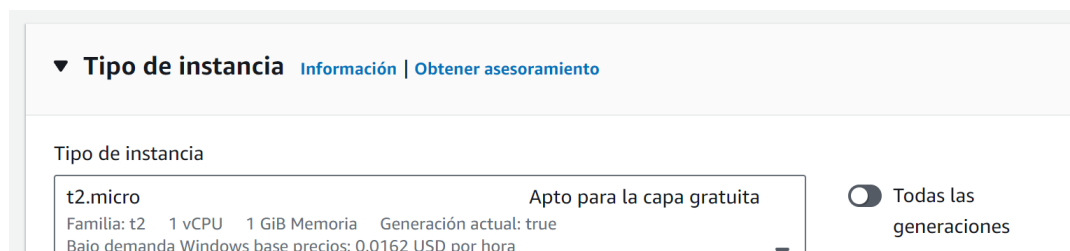
Elección de la máquina virtual para la plataforma IoT



Nota. Elaboración propia

Figura 42

Elección de la capacidad de instancia



Nota. Elaboración propia

- La clave de inicio de sesión se configura para tener acceso remoto al servidor acorde a la Figura 43.
- Así mismo se estableció un grupo de seguridad para el acceso restringido y proteger el sistema de posibles hackeos o intervenciones no deseadas. En la Tabla 6 se puede observar las configuraciones de restricción que se ha realizado por seguridad, donde se especifica que solo se puede acceder des la dirección del cliente por el protocolo HTTP, siendo el acceso al algoritmo y al bróker exclusivamente de parte del área de soporte.

Figura 43**Creación de par de claves en la instancia**

Tipo de par de claves



RSA

Par de claves pública y privada cifradas mediante RSA



ED25519

Par de claves privadas y públicas cifradas ED25519

Formato de archivo de clave privada



.pem

Para usar con OpenSSH



.ppk

Para usar con PuTTY

Nota. Elaboración propia**Tabla 6****Reglas Para la Seguridad de la Plataforma IoT**

Tipo de regla	Protocolo	Puerto	Dirección de Origen
HTTP	TCP	80	Dirección específica del cliente
Node-RED	TCP	1880	Mi IP
HQMQTT	TCP	1883	Mi IP

Nota. Elaboración propia

8. La capacidad de almacenamiento se configura de 30GB.
9. Una vez terminado de configurar los parámetros se procede a lanzar la instancia.
10. La Figura 44 muestra la página principal desde donde se observan todas las instancias creadas en este caso IoT_Server_RFID. También se puede apreciar la dirección IP y la DNS que por razones de seguridad se mantendrán en reserva.

Figura 44*Página principal de instancias en AWS*

✓	Name	ID de la instancia	Estado de la instan...	Tipo de inst...	Comprobación de es
✓	IoT_Server_RFID		En ejecución	t2.micro	2/2 comprobaciones

Nota. Elaboración propia

- b. Instalación de Recursos.** Una vez creada y lanzada la instancia IoT_Server_RFID, el siguiente paso es instalar los recursos necesarios para que la máquina virtual pueda correr y desplegar Node-RED.

Para ello en la consola se configuró un usuario en la consola y se dieron los permisos para instalar la versión 18.19.1 de Node-RED como se muestra en la Figura 45, además se añadieron comandos para que el programa no se cierre cada vez que se sale de la consola o se desconecta de la instancia evitando el inicio manual, ver Figura 46.

Figura 45*Versión de Node-RED instalada en la instancia Ubuntu - AWS*

```
Last login: Sun Aug 18 17:49:09 2024 from
ubuntu@ip-172-31-13-83:~$ node -v
v18.19.1
ubuntu@ip-172-31-13-83:~$
```

Nota. Elaboración propia

Figura 46

Comando de inicio automático

```
[Unit]
Description=Node-RED
After=syslog.target network.target

[Service]
ExecStart=node-red
Restart=on-failure
KillSignal=SIGINT

# log output to syslog as 'node-red'
SyslogIdentifier=node-red
StandardOutput=syslog

# non-root user to run as
WorkingDirectory=/home/gaby/
User=gaby
Group=gaby

[Install]
WantedBy=multi-user.target
```

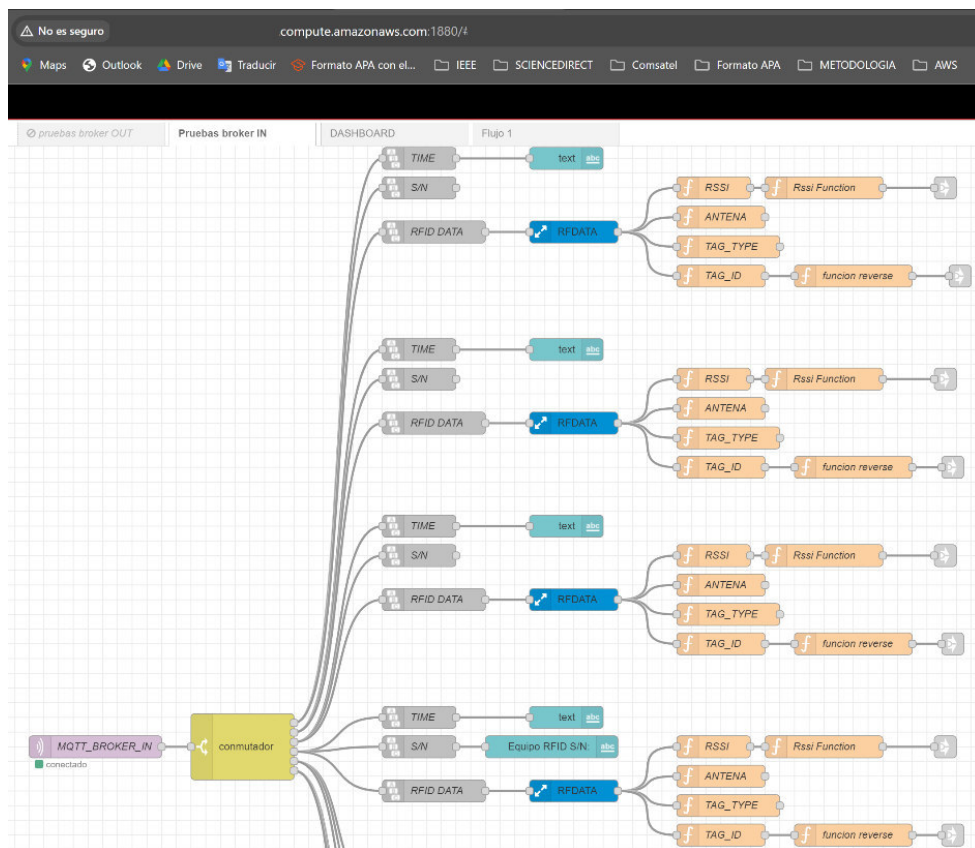
Nota. Elaboración propia

Una vez ello se puede acceder mediante la dirección IP brindada por el servidor Ubuntu - AWS direccionando al puerto 1880 para instalar y configurar el algoritmo desde Node-RED, ver Figura 47.

Como medida de seguridad se protegió el acceso a Node-RED mediante un usuario y contraseña cifrada, de esta manera solo el programador puede hacer modificaciones en caso de ser necesario.

Figura 47

Acceso al editor de Node-RED a través de la plataforma AWS



Nota. Elaboración propia

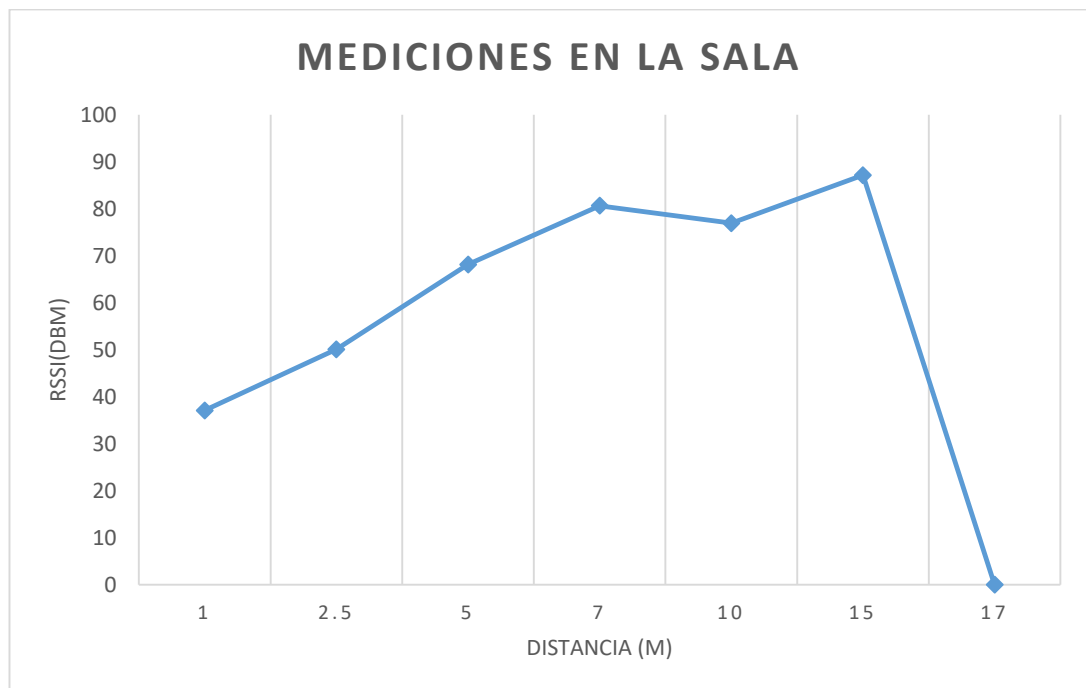
IV.7.5. Etapa 5: Pruebas y Correcciones del Sistema

Inicialmente se hicieron las pruebas de localización en la sala del comedor debido a que es la habitación principal y el espacio más grande del departamento, tanto en las esquinas o en la parte central del frente se hicieron mediciones de la intensidad de señal, sin embargo, los datos muestran pérdidas a entre los 15 y 17 metros de distancia como se detalla en la Figura 48, especialmente en las habitaciones en la parte de trasera, debido a la atenuación por las paredes de hormigón.

Los rangos de RSSI encontrados fueron de entre 80 y 93 dB, potencia muy débil inestable y poco confiable para registrar información adecuada.

Figura 48

Gráfico de primeras mediciones del sistema en la sala



Nota. Elaboración Propia

Es por ello que se tuvo que hacer un reajuste en la ubicación del lector, y se buscó la manera más eficiente posicionar el sistema. En la Figura 49 se observa el pasadizo como eje céntrico el cual la antena irradie en todas las direcciones del alojamiento, abarcando mejor la recepción de las señales mandadas por las etiquetas.

También se reasignaron estratégicamente la colocación de las etiquetas en un lugar no visible al ojo humano, que si bien es cierto son inmunes al metal y calor, no lo son ante la atenuación de las paredes.

IV.7.6. Etapa 6: Análisis de Datos

Finalmente, los datos obtenidos del sistema RFID instalado, se pueden visualizar en el Dashboard de la Figura 50.

Figura 49*Prueba del sistema RFID en el pasadizo**Nota. Elaboración Propia***Figura 50***Representación gráfica del sistema RFID del monitoreo y localización de activos**Nota. Elaboración Propia*

En la Figura 50 se muestra el entorno gráfico del aplicativo del sistema RFID, se detallan campos claves como el título con el equipo asociado, la hora actual del sistema y el nombre de los 6 apartados de las etiquetas mostrando gráficamente la intensidad de la señal o potencia RSSI, la Tabla 7 determina el rango de calidad de la señal o potencia.

Tabla 7

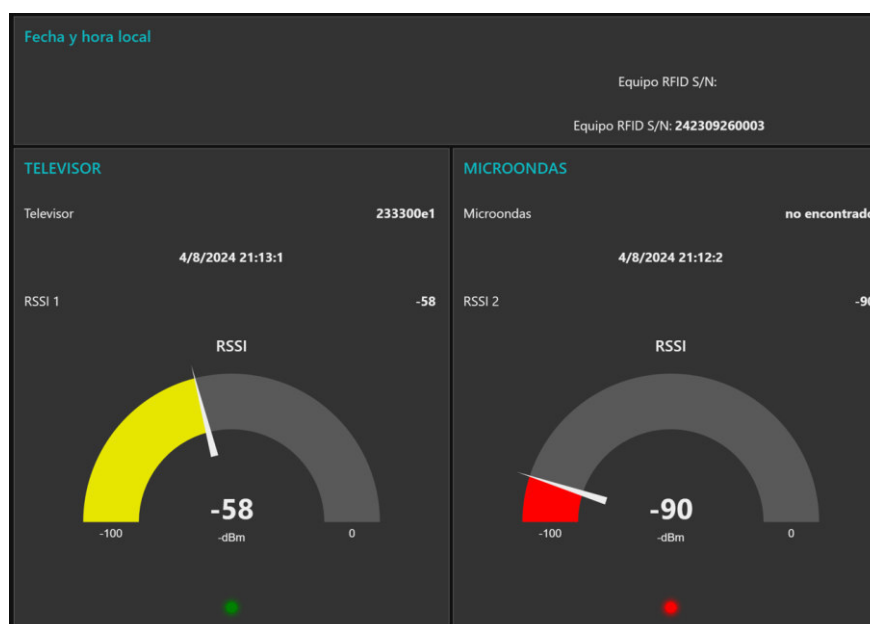
Calidad de la Señal

Valores	Calidad de señal	Color
-93 a 70 dBm	Bajo	Rojo
-70 a 30 dBm	Medio	Amarillo
-30 a 0 dBm	Bueno	Verde

Nota. Elaboración Propia

Figura 51

Lectura de valores de las etiquetas instaladas



Nota. Elaboración Propia

Además, se visualiza el LED indicador, si es verde está dentro del rango de lectura y si es rojo ha salido fuera del rango de lectura del lector como se observa en la Figura 51. La lectura de la etiqueta asignada al activo Microondas se detuvo en la fecha y hora por lo que muestra el mensaje “no encontrado” y el LED rojo, mientras activo Televisor obtuvo una lectura en tiempo real de -58dBm por lo que el LED se visualiza en verde.

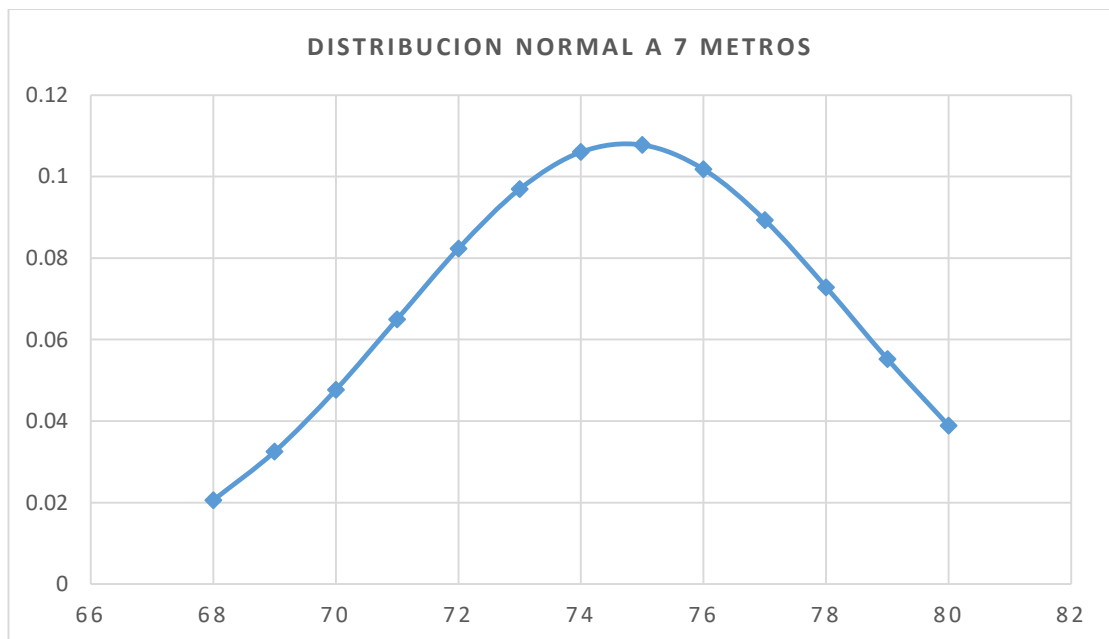
CAPÍTULO V: RESULTADOS

V.1. Confiabilidad y Validez del Sistema de RFID

La confiabilidad para este caso es el grado de consistencia de las mediciones que hacemos del sistema RFID, es decir el valor de RSSI, en un mismo lugar o distancia. para ello se pusieron las etiquetas a diferentes ubicaciones y se hicieron las pruebas. Y la validez es que el sistema RFID mida realmente los valores de RSSI. La Figura 52 muestra la campana de gauss para una medición a 7 metros de distancia con un valor promedio de 74.72 dBm.

Figura 52

Distribución normal de los valores RSSI obtenidos a 7 metros de distancia



Nota. Elaboración Propia

El procedimiento que se hizo para evaluar la confiabilidad es el de Test – Retest o medidas de estabilidad, que consiste básicamente en hacer pruebas al mismo sujeto en diferentes tiempos para verificar justamente que los valores sean similares o concordantes.

El coeficiente de Pearson (r) es el que se aplica para la escala de medición de las variables de razón. La Ecuación 12 ejemplifica que es necesario el promedio y varianza entre los instantes de tiempo diferentes.

$$r = \frac{Cov(X,Y)}{\sqrt{Var(X).Var(Y)}} = \frac{\sum(X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum(X_i - \bar{X})^2 \sum(Y_i - \bar{Y})^2}} \quad \text{Ecuación 12}$$

Donde:

$Cov(X,Y)$: Covarianza de XY

$Var(X)$: Varianza de X

$Var(Y)$: Varianza de Y

$\bar{X}, \bar{Y}$: Promedio

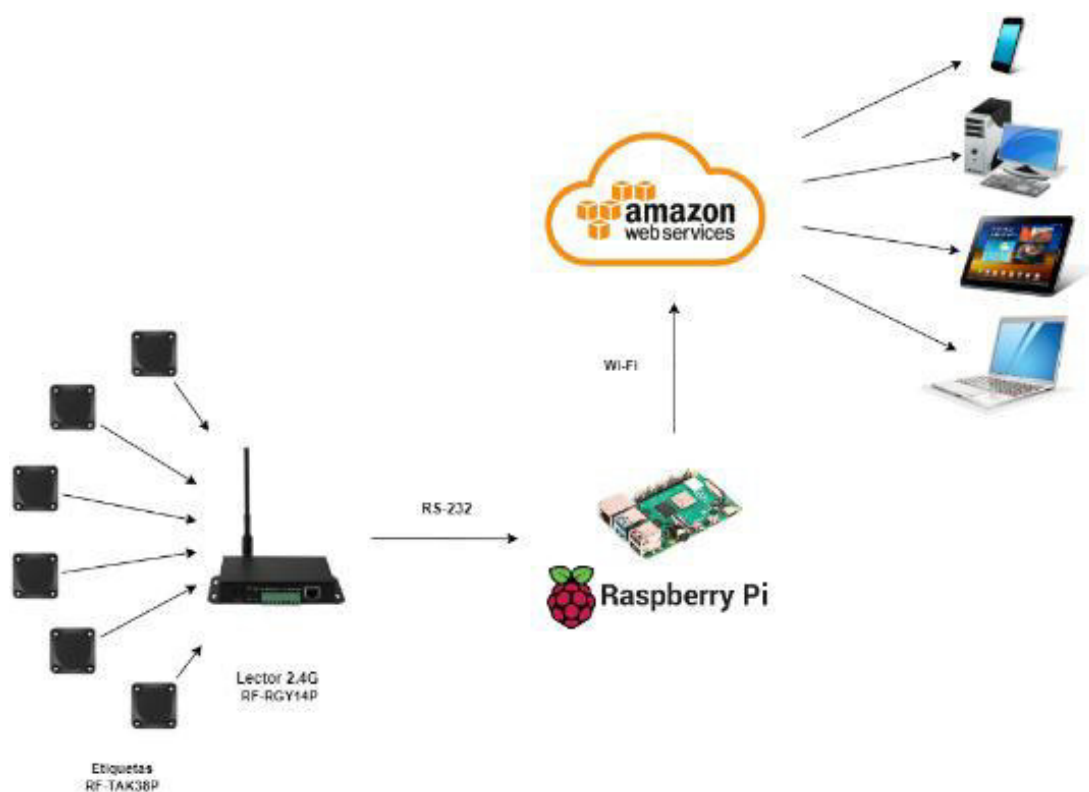
Para que el sistema RFID sea confiable el coeficiente de Pearson debe ser positivo y con tendencia a 1. Se calcularon los valores del coeficiente de Pearson para cada medición como se muestra en la Tabla 8.

V.2. Arquitectura Del Sistema RFID en Tiempo Real

Se presenta la arquitectura del sistema en la Figura 53, en la cual podemos observar el flujo de envío de los datos (tramas) en tiempo real, la captura automática de datos por parte del lector, la conexión RS-232 con la unidad de procesamiento Raspberry Pi para posteriormente ser enviados por Wi-Fi hacia la plataforma AWS y finalmente se pueda acceder a la información remotamente a través de una interfaz gráfica amigable como un teléfono o computadora.

Tabla 8*Coefficientes de Pearson Para Cada Distancia*

Distancia (m)	Coefficiente de Pearson
10	0.777
7	0.843
5	0.784
2.5	0.767
1	0.759

Nota. Elaboración propia**Figura 53***Arquitectura del Sistema RFID 2.4GHz**Nota.* Elaboración propia

Dicho sistema elimina la necesidad de hacer un inventariado o incluso una revisión manual de los activos, optimizando procesos y tiempo con solo entrar al aplicativo, son recursos cruciales para el usuario final que puede acceder desde cualquier parte del mundo y monitorear la localización de sus bienes.

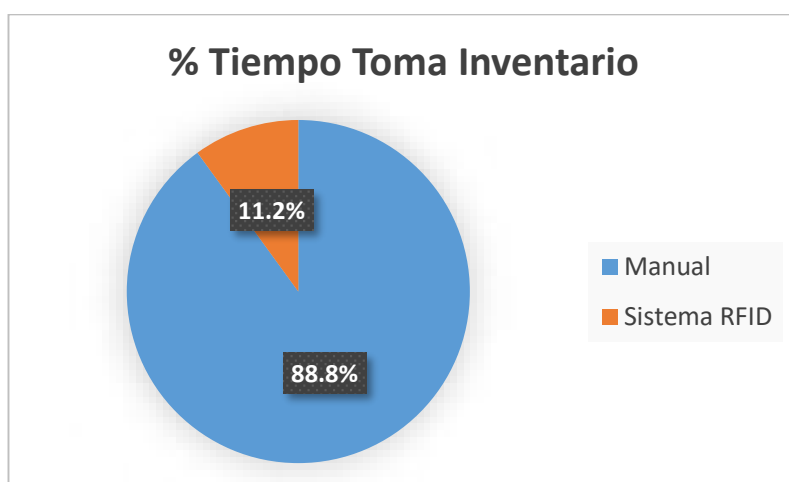
“(...) Se reduce muchísimo, yo diría más de la mitad, porque anteriormente el sistema de check out tenía que coordinar con la persona y revisar si todo está completo según la política de reserva (...), en este caso el check out ahora lo puedo hacer en una videollamada al huésped y con el sistema de localización estoy corroborando que todos mis activos principales están en el sitio correcto y no están siendo llevados.”

Pilar Gill (Entrevista personal, 25 de junio de 2025)

Por lo tanto, y en consecuencia con la entrevistada y los datos tomados en la Figura 54 se puede afirmar la reducción en un 88.8% las atenciones de un personal asignado a la verificación manual/visual de los activos en el alojamiento vacacional.

Figura 54

Porcentaje de tiempo de toma de inventario



Nota. Elaboración propia

V.3. Algoritmo Del Sistema RFID

La creación de la marca de tiempo es crucial para poder hacer la localización en tiempo real, debido a que no se contempla en el protocolo del fabricante se vio la necesidad de ponerlo al inicio de la llegada de cada trama.

El corazón del algoritmo es el parseo de las tramas, esto da confiabilidad y validez de que se están obteniendo los datos de manera fidedigna cercana al 100% acorde a los manuales e instructivos que el fabricante proporciona, (considerando entornos de calidad de datos, implementación de hardware y software) sumando el hecho de que es adaptable y escalable al mismo tiempo lo dota de solidez y robustez.

V.4. Seguridad Del Sistema RFID

Teniendo prevista la ciberseguridad y la protección y seguridad de datos en internet, se tomaron las precauciones de cifrado y autenticación en varios pasos y protocolos anticolidión de las etiquetas

Se detallan los 5 filtros de seguridad a continuación:

1. El primer filtro de la valla de seguridad se encuentra en el Raspberry Pi, ya que restringe el acceso por usuario y contraseña.
2. El segundo filtro es en el algoritmo, se diseñó de manera que solo las etiquetas autorizadas sean leídas (reconocidas por medio de una Lista Blanca) eliminado el tema de interferencia y toma de datos suplantados.
3. El tercer filtro es en el Broker MQTT, ya que solo recepciona tramas suscritas a un tema, usuario y contraseña específicos.

4. El cuarto filtro es la configuración de la consola en la nube AWS, así como el Raspberry Pi se añadió un usuario y contraseña para la protección de datos.
5. El quinto filtro es el grupo de seguridad de la nube AWS, es decir controlar y restringir el acceso limitando las entradas IP y puertos.

En resumen, se tiene restricciones de acceso a la configuración del sistema y una IP dedicada para la visualización del Dashboard.

“Yo creo que es un bonus, (...) si alguien me hackea o sabe mi contraseña no va poder hacerlo en otro equipo porque tengo entendido que el sistema me da exclusividad con 1 aparato en línea, (...) es muy conveniente para mi y me da seguridad”

Pilar Gill (Entrevista personal, 25 de junio de 2025)

V.5. Eficacia y Eficiencia Del Control

El control del sistema es eficaz debido a que satisface los objetivos de localización de activos a optimizando los procesos de verificación manuales en un 97% (ver Figura 55) y eficiente debido a que se administran los recursos de inversión ajustando los costos dentro de lo posible.

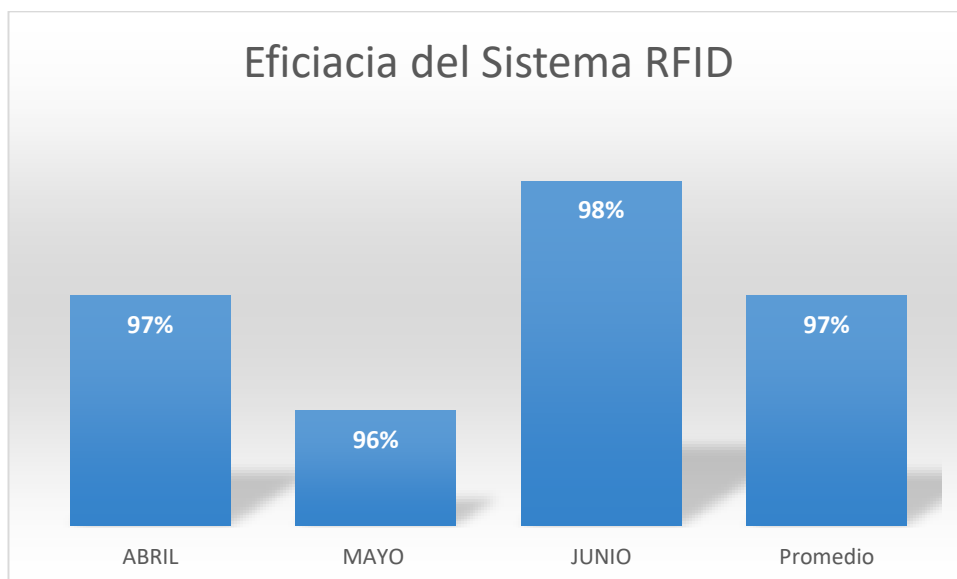
“Hace lo que necesito que haga, me reduce el tiempo en hacer la verificación que mis activos están en su lugar y eficiente claro porque es una inversión a tiempo completo me va a facilitar muchas transacciones en el negocio (...), tengo entendido que es una suma fuerte al principio, pero te la luego la posibilidad de tenerlo a un precio mucho mejor”.

Pilar Gill (Entrevista personal, 25 de junio de 2025)

Se ha diseñado e implementado un sistema RFID para localización de activos en tiempo real que cumple con el planteamiento del problema y aprovecha los recursos tecnológicos y económicos

Figura 55

Eficacia del Sistema RFID



Nota. Elaboración propia. Compreendido entre los meses abril, mayo y junio 2025.

CAPÍTULO VI: DISCUSIÓN DE RESULTADOS

El sistema RFID es una solución tecnológica diseñada e implementada para cumplir con la localización de activos de bajo costo no solo para alojamientos vacacionales, sino que es adaptable para empresas ya sea pequeña, mediana o gran empresa.

VI.1. Contrastación de Hipótesis Con Los Resultados

Pasado el proceso de pruebas y correcciones del diseño e implementación del sistema RFID, los resultados establecen lo siguiente:

1. La aplicación de la ingeniería optimiza el proceso de localización de activos y ahorra tiempo y dinero de forma significativa para el usuario u operador en un 88.8%.
2. La aplicación de un algoritmo confiable que optimice los componentes de la arquitectura del sistema garantiza la validez de los datos mostrados.
3. Es crucial la correcta instalación del sistema, ubicación de etiquetas como lector de manera que se aproveche al máximo las lecturas de los mismos.

Así mismo los resultados obtenidos fueron tratados y analizados de manera que se presenta la confiabilidad en la Tabla 9. y se obtuvo en promedio un coeficiente de Pearson del 0.786 indicando que existe una correlación positiva considerable, según Hernández-Sampieri y Mendoza (2018), entre los valores con una significancia del 0.05, es decir, la hipótesis se toma como verdadera.

Tabla 9*Valores Encontrados en el Análisis de Datos*

	Valor
Coefficiente de Pearson	0.786
Significancia	0.05
Reducción de tiempo	88.8%

Nota. Elaboración propia

VI.2. Comprobación de la Hipótesis

VI.2.1. Hipótesis General

Se pudo comprobar que el diseño e implementación de un sistema RFID de bajo costo permite el control de activos en tiempo real de un alojamiento vacacional temporal en el distrito de San Miguel.

VI.2.2. Hipótesis Específicas.

- **HE1: El análisis de las distintas alternativas de sistemas RFID permitirá la elección de una solución óptima un adecuado control de activos en tiempo real de bajo costo aplicable al alojamiento vacacional temporal en distrito de San Miguel.**

Esta hipótesis que demostrada porque se recopiló información de las diversas soluciones RFID, y realizó el análisis de las tecnologías como lo son UHF 850 – 960 MHz y 2.4GHz, quedando la segunda como elegida debido a sus mejores prestaciones en rango de

alcance, cobertura en todas las direcciones y desempeño en diferentes superficies como lo son el metal y calor.

- **HE2: El diseño de un sistema RFID permite el control de activos de bajo costo en tiempo real para alojamiento vacacional temporal en el distrito de San Miguel.**

La hipótesis se comprueba con el algoritmo del sistema que es capaz de reconocer los diferentes activos debidamente etiquetados, para ello emplea un sistema de procesamiento de bajo coste, garantizando la confiabilidad en cada lectura de los datos en toda el área del alojamiento vacacional.

- **HE3: El prototipo de un sistema RFID permite el control de activos en tiempo real de bajo costo para alojamiento vacacional temporal en el distrito de San Miguel.**

La arquitectura y la puesta en marcha del sistema RFID verificando su funcionamiento mediante el análisis de los datos demuestran un control de localización sobre los activos acorde a lo establecido por el planteamiento del problema, validando esta hipótesis.

- **HE4: La validación del sistema RFID se hará de forma eficiente, permitiendo el control de activos en tiempo real de bajo costo para alojamiento vacacional temporal en el distrito de San Miguel.**

La validez del sistema RFID queda demostrada en primera instancia por el grado de confianza (coeficiente de Pearson) que se tiene en el instrumento de medición en este caso el lector, cuyo protocolo indica valores de RSSI, mismos que son procesados por el algoritmo y desplegados en la interfaz gráfica en la nube AWS, y que es de 0.57. En segunda instancia la eficiencia y eficacia quedan

demostradas al optimizar los recursos invertidos a un precio razonable para el consumidor. Y lograr la localización/control sobre los activos o sujetos en tiempo real.

VI.3. Costo de Inversión

Desde el punto de vista económico se debe analizar la viabilidad del proyecto, es decir presentar los gastos a los que se incurrió y verificar si es atractiva como una inversión económica de bajo coste para su puesta en marcha.

El costo de inversión para el presente proyecto se divide en costo de mano de obra y costo de materiales se describen en la Tabla 10 y Tabla 11, asimismo, se tiene en cuenta los gastos de mantenimiento de la plataforma IoT en la Tabla 12.

Los costos de los materiales y mano de obra son de una sola inversión, mientras que los gastos de mantenimiento de la plataforma son mensuales como si se tratase de una suscripción.

Tabla 10

Costos de Mano de Obra

SERVICIO DE INGENIERIA Y DESARROLLO DE SOFTWARE	HORAS	UNIDAD	VALOR (S/.)
Instalación de repisa	1	50	50
Desarrollo de algoritmo	32	4.68	150
Implementación de Sistema IoT	12	4.17	50
Integración y pruebas	20	5	100
		TOTAL	350

Nota. Elaboración Propia

Tabla 11*Costo de Materiales*

EQUIPO	MARCA	MODELO	CANTIDA D	UNIDA D	VALOR (S/.)
LECTOR RFID	RFID	RF-	1	650	650
2.4G	Identify	RGY14P			
ETIQUETAS 2.4G	RFID	RF-	6	7.6	45.6
	Identify	TAK38P			
Raspberry Pi 3B	Raspber ry	3B	1	350	350
Micro Sd Kingston	Kingston		1	20	20
16gb					
Convertidor RS232			1	18	18
-USB					
Adaptador DB9			1	3	3
Hembra					
Repisa de madera			1	27	27
Soporte de repisa			2	7	14
Tornillos			4	3	12
Caja negra ABS			1	32.6	32.6
				TOTAL	1172.2

Nota. Elaboración Propia**Tabla 12***Costo de Mantenimiento Plataforma AWS por Mes*

DESCRIPCION	HORAS	UNIDAD	VALOR (S/.)
Precio de la plataforma AWS por mes	730	0.0441	32.20

Nota. Elaboración Propia

CAPÍTULO VII: CONCLUSIONES

En concordancia con los indicadores y datos presentados en el Capítulo VI, se concluye que la propuesta del sistema RFID diseñada e implementada cumple con los objetivos determinados al inicio del estudio, logrando el control de los activos en tiempo real aprovechando al máximo los recursos para que sea de bajo coste.

Se realizó un análisis de las distintas soluciones RFID y lo cual permitió identificar el sistema RFID 2.4GHz como el adecuado para el control de activos

Se diseñó un algoritmo y arquitectura para el sistema RFID, permitiendo el reconocimiento y localización en tiempo real de los activos de manera segura y optimizando los recursos al máximo.

Se implementó el prototipo del sistema RFID el cual captura los datos y mide la intensidad de la señal recibida a través del lector. Dicha implementación permitió la recopilación de los datos analizados indicando el control y localización de los activos con una confiabilidad positiva considerable de 0.786 y un nivel de significancia de 0.05 demostrando que es un proyecto válido para lograr dicha tarea.

Se validó el sistema RFID de forma eficacia a través del coeficiente de Pearson logrando que el proyecto sea confiable en el párrafo anterior y además se valida la eficiencia con la optimización y aprovechamiento de los recursos mostrados en la Tabla 10 y Tabla 11 sumando S/.1522.20 como inversión inicial y un coste de mantenimiento mensual de S/.32.20 (Tabla 12),

mismo que es asequible no solo para alojamientos vacacionales, sino que dependiendo del volumen (debido a que el coste de las etiquetas activas es mayor que las etiquetas pasivas) y con un enfoque adecuado se puede generalizar para el acceso a pequeñas/medianas y grandes empresas.

CAPÍTULO VIII: RECOMENDACIONES

Existen algunas recomendaciones que deben tener en cuenta para casos de estudios futuros o si se quiere profundizar más en el tema.

En primer lugar, se recomienda usar equipos o materiales de calidad, para ello se debe tener en cuenta la hoja de datos e información relacionada con su rendimiento como videos o equipos DEMO. Algunos fabricantes recomiendan el uso de sus dispositivos también en exteriores por lo que se abre un extenso abanico de posibilidades y usos del sistema.

En cuanto al diseño del sistema, el algoritmo propuesto puede ser mejorado con relación a implementar una base de datos o alertas que incluyan algunas directrices de seguridad como: alertas sonoras, o incluso de llamada o mensaje de texto aplicado a celulares enlazados con el sistema y la plataforma AWS.

Las etiquetas deben colocarse discretamente asegurándose que la zona tenga cobertura ya que podría generar falsos negativos al momento de la lectura.

Se recomienda medir el espacio a trabajar y dimensionar correctamente las antenas y activos a emplear debido a que es un proyecto escalable y adaptable por lo que afecta directamente elevando el costo.

CAPÍTULO IX: BIBLIOGRAFIA

ALIEN Technology. (2014). *ALR-8696-C Low VSWR/Axial Ratio Antenna*
[Archivo PDF].

<https://www.dipolerfid.es/files/archivosproductos/81/Datasheet-Antena-Alien-ALR-8696-C.pdf>

And1mu. (2016). *EM-Wave*. Wikimedia Commons.

<https://commons.wikimedia.org/wiki/File:EM-Wave.gif>

AscendIOT. (2023). *What is RFID used for on clothes?* Ascend IOT.

<https://www.as-rfid.com/info/what-is-rfid-used-for-on-clothes-79868102.html>

Biblioteca at Duoc UC. (n.d.). *Definición y propósito de la Investigación*

Aplicada - Investigación Aplicada, Innovación y Transferencia. Retrieved July 28, 2024, from <https://bibliotecas.duoc.cl/investigacion-aplicada/definicion-proposito-investigacion-aplicada>

Blacus, V. (2012). *Electric field of a point charge*. Wikimedia Commons.

https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Electric_field_of_a_point_charge.svg

Crates. (2008). *EM Spectrum Properties* es. Wikimedia.

https://commons.wikimedia.org/wiki/File:EM_Spectrum_Properties_es.svg

D'Alessandris, P. (n.d.). *Conceptos y principios*. Retrieved April 13, 2025, from

https://espanol.libretexts.org/Fisica/Libro%3A_Fisica_Espiral_-_Basado_en_Calculo_%28D%27Alessandris%29/Electricidad_Espiral_y_Magnetismo_%28Basado_en_Cálculo%29/8%3A_Ondas_electromagn

éticas/01._Conceptos_y_principios

Dave3457. (2010). *Circular.Polarization.Circularly.Polarized.Light Right.Handed.Animation.*

https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Circular.Polarization.Circularly.Polarized.Light_Right.Handed.Animation.305x190.255Colors.gif

Dicklyon. (2007). *Wave Diffraction 4Lambda Slit.* Wikimedia Commons.

https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Wave_Diffraction_4Lambda_Slit.png

ESERO Spain. (2021). *Ondas de Radio.* https://esero.es/practicass-en-abierto/decodifica-imagenes-iss/ondas_de_radio.html

Ferrando, M., & Valero, A. (2001). ANTENAS ANTENAS ELEMENTALES 2 Potencial vector. *Universidad Politécnica de Valencia.*

Flerhun. (2011). *Radar-polarisation* es. Wikipedia.

https://es.m.wikipedia.org/wiki/Archivo:Radar-polarisation_es.svg

FQ Ingeniería Electrónica. (2014). *Estándares y regularizaciones para RFID.*

FQ Ingeniería Electrónica.
<https://www.fqingenieria.com/es/conocimiento/estandares-y-regularizaciones-para-rfid-36>

Gacitúa Lovera, G. F. (2006). *Estudio en Estructuras de Hormigón Armado Mediante el Uso de un Radar de Penetración Terrestre.*

<http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2006/bmfcig121e/sources/bmfcig121e.pdf>

Geek3. (2010). *VFPT dipole electric manylines.* Wikimedia Commons.

https://commons.wikimedia.org/wiki/File:VFPT_dipole_electric_manylines.svg

Gonzales Vicente, M. D. (2022). *Prototipo de solución para monitoreo y control remoto de una red de distribución de agua potable usando la tecnología LoRa WAN.* Universidad Nacional Mayor de San Marcos.

- Hernández-Sampieri, R., & Mendoza, C. (2018). *Metodología de la Investigación las rutas cuantitativas, cualitativas y mixta* (1/2018). McGraw-Hill Interamericana S.A.
- IMPINJ. (2021). *IMPINJ R700 RAIN RFID READER*. [Archivo PDF]. <https://www.dipolerfid.es/files/archivosproductos/358/Datasheet-Lector-RFID-UHF-R700-Impinj.pdf>
- Institute of Electrical and Electronics Engineers. (1983). *IEEE Standard Definitions of Terms for Antennas (IEEE Std 145-1983)*, <https://doi.org/10.1109/IEEESTD.1983.82386>
- Instituto Nacional de Estadística e Informática. (2025). *Estadísticas de Seguridad Ciudadana*. https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/boletines/boletin_seguridad_ciudadana_dic24-may25.pdf
- Liu, M., Wang, H., Yang, Y. Y., Zhang, Y., Ma, L., & Wang, N. (2019). RFID 3-D Indoor Localization for Tag and Tag-Free Target Based on Interference. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 68(10), 3718–3732. <https://doi.org/10.1109/TIM.2018.2879678>
- Lucas Flores, J. (2019). *Qué es Raspberry Pi*. Open Webinars. <https://openwebinars.net/blog/que-es-raspberry-pi/>
- Luna Castellanos, A. (n.d.). Antenas. *Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica*.
- Marktrace RFID. (s.f.-a). *2.4GHz Active Tag (Assets Management Type)*. Retrieved June 15, 2025, from https://www.marktraceiot.com/2-4ghz-active-tag-assets-management-type_p60.html
- Marktrace RFID. (s.f.-b). *Indoor Use MR7902 2.4G Directional Reader*. Retrieved June 15, 2025, from https://www.marktraceiot.com/indoor-use-mr7902-2-4g-directional-reader_p30.html
- Microsoft. (2024). *Qué es la nube: definición*. <https://azure.microsoft.com/es->

es/resources/cloud-computing-dictionary/what-is-the-cloud/

Montañez, G. (2023). *Diseño e implementación de un sistema de internet de las cosas para supervisar cultivos de maíz en Huancavelica, en el 2022*. Universidad Nacional Mayor de San Marcos.

Mordor Intelligence Research & Advisory. (2023). *Tamaño del mercado de ubicación interior y análisis de participación tendencias de crecimiento y pronósticos (2024-2029)*.
<https://www.mordorintelligence.com/es/industry-reports/indoor-location-market>

Mordor Intelligence Research & Advisory. (2024a). *Latin America Location Analytics Market Size & Share Analysis - Growth Trends & Forecasts (2024 - 2029)*. <https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/latin-america-location-analytics-market-industry>

Mordor Intelligence Research & Advisory. (2024b). *RFID Market Size & Share Analysis - Growth Trends & Forecasts (2024 - 2029)*.
<https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/global-rfid-market>

Motroni, A., Buffi, A., & Nepa, P. (2021). A Survey on Indoor Vehicle Localization through RFID Technology. *IEEE Access*, 9, 17921–17942.
<https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3052316>

Naylamp Mechatronics. (s.f.-a). *Módulo Lector RFID 13.56MHz RC522*. Naylamp Mechatronics. Retrieved April 13, 2025, from <https://naylampmechatronics.com/rfid-nfc/80-modulo-lector-rfid-1356mhz-rc522.html>

Naylamp Mechatronics. (s.f.-b). *Raspberry Pi B+*. Naylamp Mechatronics. Retrieved April 13, 2025, from <https://naylampmechatronics.com/raspberry-pi/53-raspberry-pi-b-plus.html>

OpenJS Foundation & Contributors. (n.d.). *Node-RED*. Retrieved July 15,

2024, from <https://nodered.org/about/>

Pankaj Shah, I. (2020). *SENSOR EXPLORATION FOR LOCALIZATION IN CLEANROOMS*. University of Illinois.

Quevedo, F. (2021). *Enfoque, tipo y diseño de investigación EXPLICACIÓN SENCILLA Y DETALLADA*. YouTube. https://www.youtube.com/watch?v=MdZIC1iLSCc&list=PLiZaggTz9cm6aANRqppg0I8CAQjw4xl9j&index=2&ab_channel=FelipeQuevedo-Tesis

Raspberry Pi. (2023). Raspberry Pi 3 Model B+. *Raspberry Pi*.

Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC) (2013) *RESOLUCIÓN MINISTERIAL N° 199-2013-MTC/03*. *El Peruano*, 493082–493086.

RF-Identify. (s.f.-a). 2.4G RFID Active Asset Tag. <https://rf-identify.com/product/2-4g-rfid-active-asset-tag/>

RF-Identify. (s.f.-b). 2.4G RFID Fixed Reader. <https://rf-identify.com/product/2-4g-rfid-fixed-reader/>

Rivera Salinas, J. F. (2021). *Análisis, diagnóstico y propuesta de mejora del sistema de almacenamiento de un depósito temporal en un contexto de pandemia*. PUCP.

Rojas Berríos, M. (2024). *Airbnb y una nueva modalidad de robo: Alquila habitación, le roban todo y utilizan su DNI para saquear otros inmuebles*. Infobae. <https://www.infobae.com/peru/2024/03/05/airbnb-y-una-nueva-modalidad-de-robo-alquila-habitacion-le-roban-todo-y-utilizan-su-dni-para-saquear-otros-inmuebles/>

Sierra Castañer, M., Besada Sanmartín, J. L., & De Haro Ariet, L. (2004). *Radiación y Propagación*. https://www.cartagena99.com/recursos/alumnos/apuntes/tema3_2004.pdf

Sotelo Narváez, M. G. (2020). *DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN*

SISTEMA DE INVENTARIO RFID PARA EL ALMACÉN DE LA SECCIÓN DE ELECTRICIDAD Y ELECTRÓNICA DE LA PUCP. PUCP.

Spiceworks. (2022). *MQTT Working, Types, Applications*. Spiceworks.
<https://www.spiceworks.com/tech/iot/articles/what-is-mqtt/>

Stallings W. (2008). *Comunicaciones y Redes de Computadores* (7ma ed).
 Pearson Prentice Hall

Tajer, M. (2007). *Refraction*. Flickr.
<https://www.flickr.com/photos/mohtj/436541295/>

Tang, S. (2024). *What is 2.4G Active RFID and Its Application*. LinkedIn.
<https://www.linkedin.com/pulse/what-24g-active-rfid-its-application-shell-tang-ab5dc/?trackingId=IVODMTLzTKeRRCQJiH5Xbg%3D%3D>

Taylor, S. J., y Borgan, R. (1987). *Introducción a los métodos cualitativos de investigación: : la búsqueda de significados*. Paidós.

Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) (1990). *Vocabulario de radiocomunicaciones (Recomendación UIT-R V.573-3)*.
https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/v/R-REC-V.573-3-199006-S!!PDF-S.pdf

YANPODO RFID. (s.f.). *Etiquetas adhesivas RFID UHF, 860-960mhz, U9, EPC, Gen2, ISO18000-6C*. Aliexpress. <https://goo.su/AXXayq>

Yarín, Y. (2017). *Diseño e implementación de un sistema de localización y control de inventarios en un almacén de aduanas, utilizando tecnología RFID* [Tesis de maestría, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Ingeniería Industrial, Unidad de Posgrado]. Repositorio institucional Cybertesis UNMSM.

Zafari, F., Gkelias, A., & Leung, K. K. (2019). A Survey of Indoor Localization Systems and Technologies. *IEEE Communications Surveys and Tutorials*, 21(3), 2568–2599.

<https://doi.org/10.1109/COMST.2019.2911558>

Zebra Technologies. (2024). *Base estándar de RFID UHF RFD40*. Zebra.
<https://www.zebra.com/la/es/products/rfid/rfid-handhelds/rfd40.html>

CAPÍTULO X: ANEXOS

Anexo 1: Matriz de Consistencia

Problema	Objetivos	Hipótesis	Variables	Indicadores	Instrumento de medición	Metodología
Problema General:	Objetivo General:	Hipótesis General:	Variable Independiente:	I1: Confiabilidad y validez del sistema RFID	Análisis de los diversos sistemas RFID	Metodología: Cuantitativa de acuerdo a Hernández-Sampieri y Mendoza (2018)
¿Cómo diseñar e implementar un sistema RFID de bajo costo para el control de activos en tiempo real de un alojamiento vacacional temporal en el	Diseñar e implementar un sistema RFID de bajo costo para el control de activos en tiempo real de un alojamiento vacacional temporal en el	El diseño e implementación de un sistema RFID de bajo costo permitirá el control de activos en tiempo real de un alojamiento vacacional temporal en el	Sistema RFID Dimensiones: Arquitectura Algoritmo de programación Escalabilidad	I2: Arquitectura del sistema de RFID en tiempo real I3: Algoritmo del sistema RFID	Grado de complejidad Análisis de Confiabilidad, y validez.	

Problema	Objetivos	Hipótesis	Variables	Indicadores	Instrumento de medición	Metodología
distrito de San Miguel? Problemas Específicos: PE1: ¿Cómo realizar un análisis adecuado de distintas alternativas de sistemas RFID para el control de activos en tiempo real de bajo costo aplicable al	distrito de San Miguel. Objetivos Específicos: OE1: Realizar un análisis adecuado de distintas alternativas de sistemas RFID para el control de activos en tiempo real de bajo costo aplicable al alojamiento	distrito de San Miguel. Hipótesis Específicas HE1: El análisis de las distintas alternativas de sistemas RFID permitirá la elección de una solución óptima un adecuado control de activos en tiempo real de bajo costo aplicable al	Variable dependiente: Control y monitoreo de activos Dimensiones: Calidad Seguridad Eficacia y eficiencia.	I4: Seguridad del sistema RFID I5: Eficacia y eficiencia del control	Medición de las potenciales amenazas y vulnerabilidades en hardware y software. Cantidad de recursos utilizados y grado de realización del control de activos	Tipo de investigación: Investigación aplicada de acuerdo a Hernández-Sampieri y Mendoza (2018) Alcance de la investigación: Descriptivo de acuerdo a Hernández-Sampieri y Mendoza (2018)

Problema	Objetivos	Hipótesis	Variables	Indicadores	Instrumento de medición	Metodología
alojamiento vacacional temporal en distrito de San Miguel?	vacacional temporal en distrito de San Miguel.	alojamiento vacacional temporal en distrito de San Miguel.				Diseño de investigación: Cuasiexperimental de acuerdo a Hernández-Sampieri y Mendoza (2018)
PE2: ¿De qué forma diseñar un sistema RFID para el control de activos de bajo costo en tiempo real para alojamiento vacacional temporal en el	OE2: Diseñar un sistema RFID para el control de activos en tiempo real de bajo costo para alojamiento vacacional temporal en el distrito de San Miguel.	HE2: El diseño de un sistema RFID permitirá el control de activos de bajo costo en tiempo real para alojamiento vacacional temporal en el distrito de San Miguel.				Población o unidad: 6 etiquetas activas RFID

Problema	Objetivos	Hipótesis	Variables	Indicadores	Instrumento de medición	Metodología
distrito de San Miguel? PE3: ¿Cómo implementar un prototipo de un sistema RFID para el control de activos en tiempo real de bajo costo para alojamiento vacacional temporal en el distrito de San Miguel?	OE3: Implementar prototipo de un sistema RFID para el control de activos en tiempo real de bajo costo para alojamiento vacacional temporal en el distrito de San Miguel.	HE3: La implementación de un prototipo de un sistema RFID permitirá el control de activos en tiempo real de bajo costo para alojamiento vacacional temporal en el distrito de San Miguel.				

Problema	Objetivos	Hipótesis	Variables	Indicadores	Instrumento de medición	Metodología
PE4: ¿Cómo validar de forma eficiente el sistema RFID para el control de activos en tiempo real de bajo costo para alojamiento vacacional temporal en el distrito de San Miguel?	OE4: Validar de forma eficiente el sistema RFID para el control de activos en tiempo real de bajo costo para alojamiento vacacional temporal en el distrito de San Miguel.	HE4: La validación del sistema RFID se hará de forma eficiente, permitiendo el control de activos en tiempo real de bajo costo para alojamiento vacacional temporal en el distrito de San Miguel.				

Nota. Elaboración Propia

