



**INGENIERÍA EN REDES Y TELECOMUNICACIONES**

**PROYECTO DE GRADO**

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE MONITOREO  
INALAMBRICO PARA DETECTAR FALLAS DE  
FUNCIONAMIENTO EN LAS CAJAS DE  
DISTRIBUCIÓN DEL ALUMBRADO PÚBLICO,  
CASO DE ESTUDIO DISTRITO I DEL  
MUNICIPIO DE QUILLACOLLO**

**Jasmin Aguayo rocha**

**Tutor: Ing. Marcelo Sejas Sotez**

**Cochabamba - Bolivia**

**2023**



**INGENIERÍA EN REDES Y TELECOMUNICACIONES**

**PROYECTO DE GRADO**

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE MONITOREO  
INALAMBRICO PARA DETECTAR FALLAS DE  
FUNCIONAMIENTO EN LAS CAJAS DE  
DISTRIBUCIÓN DEL ALUMBRADO PÚBLICO  
CASO DE ESTUDIO, DISTRITO I DEL  
MUNICIPIO DE QUILLACOLLO**

**Jasmin Aguayo Rocha**

**Tutor: Ing. Marcelo Sejas Sotez**

**Proyecto de Grado para optar al grado de licenciatura en  
Ingeniería en Redes y Telecomunicaciones**

**Cochabamba – Bolivia**

**2024**

**ABSTRACT**

**TITULO:** DISEÑO DE UN SISTEMA DE MONITOREO INALAMBRICO PARA LA DETECCION DE FALLAS DE FUNCIONAMIENTO EN LAS CAJAS DE DISTRIBUCION DEL ALUMBRADO PUBLICO, CASO DE ESTUDIO DISTRITO I DEL MUNICIPIO DE QUILLACOLLO

**AUTOR (ES):** Jasmin Aguayo Rocha

### **PROBLEMÁTICA**

Detección limitada de fallas de funcionamiento en las cajas de distribución del sistema de alumbrado público para el distrito uno del municipio de Quillacollo.

### **OBJETIVO GENERAL**

Diseñar un sistema de monitoreo inalámbrico para detectar fallas de funcionamiento en las cajas de distribución del sistema de alumbrado público para el distrito uno del municipio de Quillacollo.

### **CONTENIDO**

El presente proyecto propone una solución a las fallas de funcionamiento en las cajas de distribución del sistema de alumbrado público para el distrito uno del municipio de Quillacollo, con el propósito de agilizar y mejorar el proceso de atención a las diferentes fallas de grupos de luminarias de alumbrado público. El enfoque de este proyecto reside en el uso de sensores, micro controladores, tecnología inalámbrica y plataformas de gestión de información en la nube a través de los cuales se pretende generar reportes de fallas en tiempo real del funcionamiento adecuado de los componentes eléctricos de las cajas de distribución. Para presentar la información obtenida a partir de sensores al personal encargado de atender las fallas de funcionamiento del sistema de alumbrado público, se plantea la plataforma Ubidots, misma que gestiona la información obtenida por el microcontrolador desde los sensores y permite la configuración de tableros, alertas y además mostrar la información en tiempo real.

---

CARRERA : Ingeniería en Redes y Telecomunicaciones  
PROFESOR GUÍA : Marcelo Julio Sejas Sotez  
DESCRIPTORES O TEMAS : Tecnologías de la Información y Comunicación  
PERIODO DE INVESTIGACIÓN : Febrero 2024 a agosto 2024  
E-MAIL DEL O LOS AUTORES : or.jasmin.aguayo.r@upds.net.bo

## **DEDICATORIA**

Este trabajo está dedicado a:

Dedico este trabajo principalmente a Dios, por permitirme llegar hasta este momento tan importante de mi formación profesional. A mis padres por apoyarme incondicionalmente durante toda mi formación académica, brindándome su confianza.

## **AGRADECIMIENTOS**

A: La Universidad Privada Domingo Savio por permitirme desarrollarme como profesional en el área de las telecomunicaciones.

A: Mi tutor por su valiosa guía y asesoramiento no solo en la elaboración de este proyecto de grado, sino a lo largo de mi carrera universitaria brindándome el apoyo para desarrollarme profesionalmente y seguir cultivando mis valores.

A: Los docentes de la Universidad Privada Domingo Savio que me formaron como profesional compartiéndome todo su conocimiento, motivándome a desarrollarme como persona y profesional.

A: Todas aquellas personas que me motivaron en mis momentos de inseguridad para lograr culminar mis objetivos.

## ÍNDICE GENERAL

### CAPÍTULO I 1

1.	<b>GENERALIDADES.....</b>	<b>1</b>
1.1.	INTRODUCCIÓN.....	1
1.2.	ANTECEDENTES.....	1
1.3.	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	2
1.3.1.	Situación problemática .....	2
1.3.2.	Objeto de estudio.....	4
1.3.3.	Estudio de soluciones.....	4
FUENTE:	Elaboración propia en base a investigación. ....	4
1.3.4.	Formulación del problema .....	5
1.4.	<b>OBJETIVOS .....</b>	<b>6</b>
1.4.1.	Objetivo general .....	6
1.4.2.	Objetivos específicos .....	6
1.5.	<b>HIPÓTESIS .....</b>	<b>7</b>
1.5.1.	Planteamiento de la hipótesis .....	7
1.5.2.	Variable independiente .....	7
1.5.3.	Variable dependiente .....	7
1.6.	<b>JUSTIFICACIÓN.....</b>	<b>8</b>
1.6.1.	Justificación técnica.....	8
1.6.2.	Justificación económica.....	8
1.6.3.	Justificación Social .....	8
1.7.	<b>DISEÑO METODOLÓGICO.....</b>	<b>9</b>
1.7.1.	Tipo de investigación .....	9
1.7.2.	Enfoque de la investigación .....	9
1.7.3.	Técnicas de investigación .....	10
1.7.4.	Población y muestra .....	10
1.8.	<b>ALCANCES Y LIMITACIONES .....</b>	<b>12</b>
1.8.1.	Alcances .....	12
1.8.2.	Limitaciones.....	12

**CAPÍTULO II 15**

<b>2. MARCO TEÓRICO DEL PROYECTO .....</b>	<b>15</b>
2.1. ALUMBRADO PÚBLICO .....	15
2.1.1. LUMINARIAS.....	15
2.1.1.1. Partes de las Luminarias de Alumbrado.....	15
2.2. REDES INALAMBRICAS.....	16
2.2.1. Tipos de redes inalámbricas .....	16
2.2.2. Redes inalámbricas de área personal (WPAN) .....	17
2.2.3. Redes inalámbricas de área local (WLAN) .....	17
2.2.4. Redes inalámbricas de área metropolitana (WMAN) .....	18
2.2.5. Redes de área extensa.....	19
2.3. TECNOLOGIAS DE COMUNICACIÓN.....	19
2.3.1. TECNOLOGÍA WIFI.....	19
Arquitectura 20	
2.3.2. TECNOLOGÍA LORA .....	21
2.3.2.1. Arquitectura de red Lora .....	21
2.3.2.2. Elementos de una red LoraWan .....	22
2.4. SENsoRES.....	22
2.4.1. Clasificación de sensores .....	22
2.4.1.1. Sensores de corriente.....	23
2.5. MICROCONTROLADORES .....	27
2.5.1. Arduino UNO .....	27
2.5.2. ESP 32 LoRa Heltec.....	28
2.5.3. STM32.....	29
2.6. Principios de transmisión de datos .....	29
2.6.1. Longitud de Onda .....	30
2.6.2. Frecuencia.....	30
2.6.3. Ancho de banda .....	31
2.6.4. Sensibilidad de la señal .....	31
2.6.5. Perdida por espacio libre .....	31
2.7. Modelos de propagación de señal .....	31
2.8. SERVIDORES DE RED.....	33

2.8.1.	SERVIDOR DE RED LORA LNS2 .....	33
2.8.2.	UBIDOTS .....	34
<b>CAPÍTULO III</b>	<b>37</b>	
<b>3.</b>	<b>MARCO PRÁCTICO DEL PROYECTO.....</b>	<b>37</b>
3.1.	RELEVAMIENTO DE LA INFRAESTRUCTURA, FUNCIONAMIENTO Y PLAN ACTUAL DE CONTINGENCIA CONTRA FALLAS DE FUNCIONAMIENTO EN LAS CAJAS DE DISTRIBUCION DEL SISTEMA DE ALUMBRADO PÚBLICO EN LA ZONA DEL DISTRITO UNO DEL MUNICIPIO DE QUILLACOLLO .....	37
3.1.1.	Relevamiento de los componentes de las cajas de distribución del sistema de alumbrado público .....	37
3.1.2.	Procedimiento de acción ante fallas del sistema de alumbrado público	40
3.1.3.	Ánalisis de encuesta de satisfacción del servicio ante fallas en el alumbrado público por parte de la entidad encargada.....	41
3.1.4.	Referenciación geográfica de las ubicaciones de las cajas de distribución del alumbrado público del distrito uno del municipio de Quillacollo ....	45
3.2.	DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA DE RECOLECIÓN DE DATOS PARA EL SISTEMA DE MONITOREO .....	48
3.2.1.	Análisis del proceso de monitoreo y posibles fallas en las etapas de conexión en las cajas de alumbrado público .....	48
3.2.2.	Evaluación de sensores en función del proceso de monitoreo de las cajas de distribución del sistema de alumbrado público .....	51
3.2.3.	Evaluación de microcontroladores para la comunicación del sistema de monitoreo	52
3.2.4.	Diseño de la estructura del sistema de recolección de datos .....	54
3.2.4.1.	Esquema del circuito de recolección de datos .....	54
3.2.4.2.	Sistema de alimentación del modulo .....	56
3.3.	Diseño del sistema de comunicación de la red de monitoreo .....	56
3.3.1.	Topología .....	56
3.3.2.	Cálculo y simulación de enlaces por radio frecuencia .....	57
3.3.2.1.	Enlaces de nodos al Gateway 1.....	61
3.3.2.2.	Enlaces de nodos al Gateway 2.....	67
3.3.3.	Parámetros de análisis en la señal .....	77
3.3.3.1.	Radio de Fresnel .....	77
3.3.3.2.	Perdida por espacio libre .....	77
3.3.3.3.	Potencia isotrópica radiada efectiva .....	83

3.3.4.	Comparación de cálculos obtenidos teóricamente y parámetros obtenidos en cada radio enlace .....	84
3.3.5.	Configuración de la plataforma de recepción datos y comunicación de alertas	85
3.4.	<b>ENSAMBLAJE DEL PROTOTIPO Y PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO</b>	
	87	
3.4.1.	Adecuación del entorno de prueba .....	87
3.4.2.	Ensamblaje del prototipo de recolección de datos .....	88
3.4.3.	Pruebas de funcionamiento .....	90
<b>CAPÍTULO IV 93</b>		
<b>4.</b>	<b>ANÁLISIS ECONÓMICO.....</b>	<b>93</b>
4.1.	VIABILIDAD TÉCNICA .....	93
<b>CAPÍTULO V 96</b>		
<b>5.</b>	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>96</b>
	CONCLUSIONES .....	96
	RECOMENDACIONES .....	97
	BIBLIOGRAFÍA 98	
	BIBLIOGRAFÍA 99	
	GLOSARIO 102	

## ÍNDICE DE ÍMAGENES

IMÁGEN N°1: ARBOL DE PROBLEMAS.....	3
IMÁGEN N°2: VARIABLES DE MUESTREO .....	11
IMÁGEN N°3: clasificacion de las redes inalambricas .....	17
IMÁGEN N°4: ESQUEMA DE WLAN EN EL HOGAR.....	18
IMÁGEN N°5: DIAGRAMA DE UNA RED WIMAX .....	18
IMÁGEN N°6: redes de telefonía móvil y de satélite .....	19
IMÁGEN N°7: arquitectura de red wifi.....	20
IMÁGEN N°8: PARTES DE LAS LUMINARIAS.....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
IMÁGEN N°9: DIAGRAMA DE CAJAS DE DISTRIBUCIÓN .....	38
IMÁGEN N°10: MAGNETOTÉRMICO MONOFÁSICO .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
IMÁGEN N°11: CONTACTOR MONOFÁSICO .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
IMÁGEN N°12: FOTOCELULA .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
IMÁGEN N°13: UBICACIÓN DE LAS CAJAS DE .....	46
DISTRIBUCIÓN	46
IMÁGEN N°14: MODULO ZMPT101B .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
IMÁGEN N°15: SENSOR DE TEMPERATURA Y HUMEDAD DHT-22 .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
IMÁGEN N°16: SENSOR DE PRESION BAROMETRICA BME280.....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>

IMÁGEN N°17: TOPOLOGÍA DE LA RED DE MONITOREO INALÁMBRICO DEL DISTRITO I DE MUNICIPIO DE QUILLACOLLO .....	56
IMÁGEN N°18: SOFTWARE RADIO MOBILE .....	57
IMÁGEN N°19: UBICACIONES DE LOS NODOS Y GATEwaY EN EL SOFTWARE RADIO MOBILE.....	60
IMÁGEN N°20: ENLACE NODO 7 CON EL GATEWAY 1 .....	61
IMÁGEN N°21: ENLACE NODO 11 CON EL GATEWAY .....	62
IMÁGEN N°22: ENLACE NODO 12 CON EL GATEWAY 1 .....	63
IMÁGEN N°23: ENLACE NODO 13 CON EL GATEWay 1.....	64
IMÁGEN N°24: ENLACE NODO 1 CON EL GATEWAY 1 .....	65
IMÁGEN N°25: ENLACE NODO 1 CON EL GATEWAY 2 .....	67
IMÁGEN N°26: ENLACE NODO 2 CON EL GATEWAy 2 .....	69
IMÁGEN N°27: ENLACE NODO 3 CON EL GATEWAY 2 .....	70
IMÁGEN N°28: ENLACE NODO 4 CON EL GATEWAY 2 .....	70
IMÁGEN N°29: ENLACE NODO 5 CON EL GATEWAY 2 .....	72
IMÁGEN N°30: ENLACE NODO 5 CON EL GATEWAY 2 .....	72
IMÁGEN N°31: ENLACE NODO 8 CON EL GATEWAY 2 .....	73
IMÁGEN N°32: ENLACE NODO 9 CON EL GATEWAY 2 .....	75
IMÁGEN N°33: ENLACE NODO 10 CON EL GATEWAY 2 .....	75

## ÍNDICE DE CUADROS

<b>CUADRO N°1:</b> VALORACIÓN DE SOLUCIONES.....	4
<b>CUADRO N°2:</b> OBJETIVOS específicos y acciones .....	6
<b>CUADRO N°3:</b> clasificacion de sensores .....	23
<b>CUADRO N°4:</b> especificaciones y características del sensor ACS712 30A.....	24
<b>CUADRO N°5:</b> especificaciones del sensor sct-013 (30a).....	25
<b>CUADRO N°6:</b> especificaciones del sensor ACS758LCB 50a.....	26
<b>CUADRO N°7:</b> UBICACIONES GEOGRAFICAS DE LAS CAJAS DE DISTRIBUCIÓN .....	47
<b>CUADRO N°8:</b> Comparativa de sensores de corriente.....	52
<b>CUADRO N°9:</b> COMPARACIÓN DE CARACTERISTICAS TÉCNICAS DE MICROCONTROLADORES .....	53
<b>CUADRO N°10:</b> Componentes del circuito de recolección de datos .....	54
<b>CUADRO N°11:</b> UBICACIONES GEOGRÁFICAS Y DISTANCIAS .....	58
<b>CUADRO N°12:</b> UBICACIONES GEOGRÁFICAS Y DISTANCIAS DE LOS NODOS AL GATEWAY 2.....	58
<b>CUADRO N°13:</b> PARAMETROS TÉCNICOS PARA LA SIMULACIÓN DE RADIO ENLACES .....	59
<b>CUADRO N°14:</b> comparación de parÁmetros de enlaces a gateway 1 .....	84
<b>CUADRO N°15:</b> COMPARACIÓN DE PARÁMETROS DE ENLACES A GATEWAY 2 .....	84
<b>CUADRO N°16:</b> gastos del modulo de recoleccion y transmision de datos .....	94

## ÍNDICE DE ECUACIONES

ECUACIÓN N° 1: HALLAR MUESTRA DE LA POBLACIÓN;**Error! Marcador no definido.**

# **CAPÍTULO I**

# **INTRODUCCIÓN**

## CAPÍTULO I

### GENERALIDADES

#### 1.1. INTRODUCCIÓN

#### 1.2. ANTECEDENTES

Los avances en telecomunicaciones se desarrollaron en la última década de modo que hoy es posible comunicar personas, objetos entre objetos y objetos con personas, lo que ha permitido el gran desarrollo de aplicaciones de monitoreo remoto de procesos y acciones en la línea de vida de los humanos. Las redes de sensores conectados directamente a la red de datos principal a nivel mundial "internet", permiten tener un control y monitoreo de un sinfín de objetos en la actualidad.

Uno de los servicios principales en las ciudades es el alumbrado público, el cual permite el desarrollo de actividades de manera normal sin importar la intensidad lumínica natural. La falta de este servicio incrementa las posibilidades de ocurrencia de accidentes de tránsito, inseguridad ciudadana, entre otros.

Quillacollo es un municipio, capital de la provincia Quillacollo, en el departamento de Cochabamba. Al norte limita con las provincias Ayopaya y Chapare, al este con los municipios Tiquipaya y Colcapirhua, al sud con Cochabamba, al oeste con el municipio Vinto y al sudoeste con el de Sipe Sipe.

El municipio de Quillacollo Según datos INE (Instituto Nacional de Estadística,2012), cuenta con una población de 185.142 habitantes a 2022.

Según el investigador Ostria (2008) La inauguración del alumbrado público en la ciudad de Cochabamba ocurrió el 14 de febrero de 1908 al cumplirse 98 años de la sublevación, este servicio fue suministrado desde entonces por la recientemente establecida sociedad de luz y fuerza eléctrica Cochabamba, ELFEC.

"El 4 de diciembre de 1910, la luz llega a Quillacollo y Vinto, ese mismo año el tendido se prolonga hasta Parotani y Capinota. En 1912, se benefician Tarata, Cliza, Punata y Arani, ya que la energía eléctrica llegaba con la vía férrea y conectaba pueblos importantes para la economía y la cultura".

Cuando existe alguna falla técnica, pudiendo esta ser corte de servicio o intermitencia en las líneas de transmisión de la energía eléctrica en las líneas de distribución, las cajas activan de manera automática los térmicos que llevan dentro, realizando un corte en una determinada zona.

El periódico Los Tiempos (2022) menciona que, en temporada de otoño, estos cortes son más comunes debido a que fuertes vientos pueden llegar a derribar los postes de soporte de las luminarias, o en un peor caso las ramas de los árboles son los que hacen cortes debido al contacto con los conductores.

Existen reportes de Opinión (2023) en donde los cortes del alumbrado Público en áreas de la ciudad de Cochabamba incluyendo el municipio de Quillacollo son repentinos y estos causan perjuicio para la población debido al caos vehicular que existe al no contar con semáforos y el aumento de la inseguridad al no contar con alumbrado público.

Los fallos en el funcionamiento de las cajas de distribución de energía eléctrica para el alumbrado público son muy comunes y se han dado casos que en días no han sido atendidos por la comunicación limitada existente respecto a los reportes de fallos, tanto de cortes de servicio como de uso inadecuado de luminarias en horario diurno.

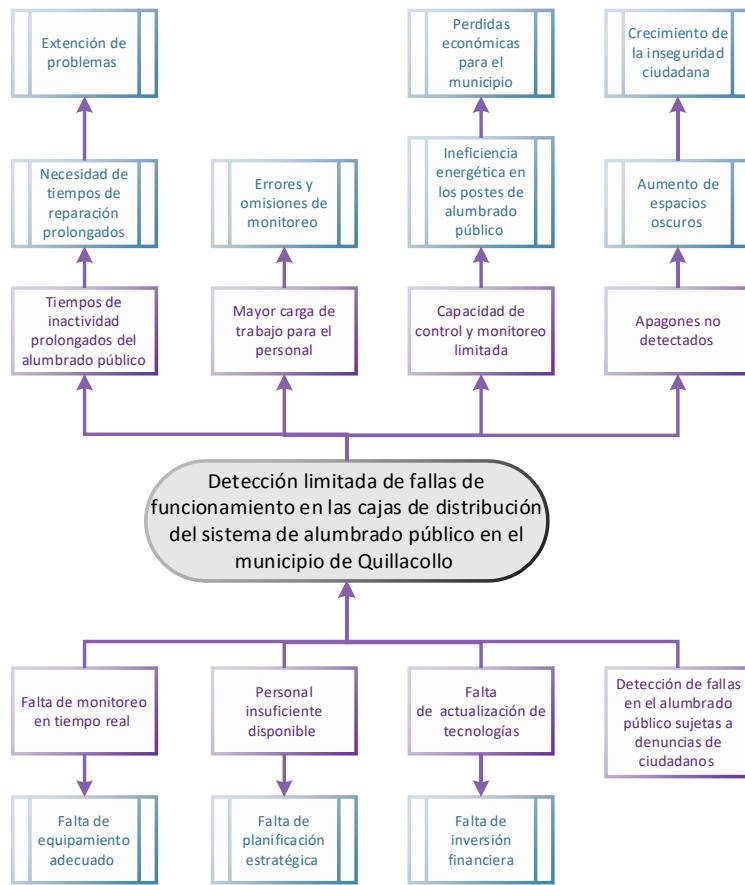
### **1.3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

#### **1.3.1. Situación problemática**

A partir de lo antes mencionado se puede establecer que las fallas en las cajas de distribución del sistema de alumbrado público dejan sin servicio eléctrico a grandes

zonas del municipio y el único sistema de comunicación ante fallas está sujeta a los reclamos de la población lo cual retrasa la asistencia técnica.

**IMAGEN N°1: ARBOL DE PROBLEMAS**



FUENTE: Elaboración propia en base a requerimientos de MDG1

### **1.3.2. Objeto de estudio**

La implementación de un sistema de monitoreo y control para las cajas de distribución de luz pública en el municipio de Quillacollo es esencial para brindar un buen funcionamiento de la infraestructura de iluminación de la ciudad. Esto no solo conlleva beneficios económicos y ambientales, sino que también mejora la seguridad y la calidad de vida de los ciudadanos, lo que hace que este sistema sea una necesidad fundamental para la ciudad.

### **1.3.3. Estudio de soluciones**

**CUADRO N°1: VALORACIÓN DE SOLUCIONES**

Casos de estudio	Problema	Solución aplicada	Valoración
Análisis Técnico para la Implementación de Procesos de Interventoría de Alumbrado Público en el Municipio de Pamplona Norte de Santander. Gómez (2015). -Colombia	Defectos o malos procedimientos en el servicio que se le brinda a la comunidad, deficiencias en la prestación del servicio, así como dificultades en las empresas prestadoras del servicio, para llevar un control sobre todos y cada uno de los procedimientos realizados en los diferentes sectores del Municipio.	Se realiza una propuesta de implementación de procesos de interventoría de alumbrado público en el municipio de Pamplona mediante un análisis técnico que abarque la calidad de este servicio en el municipio.	La propuesta que realizan se basa en un análisis el cual tiene como propósito identificar cuáles son las carencias y necesidades en la prestación del servicio de alumbrado público. Así mismo es posible identificar que los usuarios están inconformes con la calidad del servicio, los costos y la falta de mantenimiento preventivo de postes y redes de electricidad.
Diseño e implementación de un sistema automático de alumbrado Led público	El problema general es la inadecuación del sistema de iluminación actual, que afecta la comodidad, la	Diseñar e implementar un sistema de alumbrado público inteligente utilizando luminarias LED,	La solución que presenta es un avance tecnológico tanto en las luminarias que permiten ahorrar

Casos de estudio	Problema	Solución aplicada	Valoración
inteligente controlado vía wireless e instalado en la Casa de Don Bosco de Guayaquil. Chacho et al. (2013) -Ecuador.	seguridad y la funcionalidad del Albergue Casa Don Bosco.	controladores, sensores de movimiento, tecnología de telecontrol (módulo Xbee), y comunicación inalámbrica a través de un módulo GSM.	energía como en el sistema de monitoreo el cual también permite ahorrar energía eléctrica, pero los costos de implementación pueden altos lo cual no lo hace muy viable para la implementación en un área más extensa
"Análisis, diseño y selección de alternativas de iluminación para alumbrado público con nuevas tecnologías. Hernández (2018). -Perú.	El problema en el sistema de alumbrado público de Lima radica en el alto consumo de energía eléctrica, las pérdidas de energía en el sistema eléctrico y el alto costo de mantenimiento asociado con las luminarias convencionales.	Analizar y diseñar un sistema de iluminación para alumbrado público con nuevas tecnologías, mostrando sus componentes y compararlos con un sistema de iluminación convencional, ofreciendo máxima eficiencia energética.	el plan propuesto aborda de manera integral los aspectos técnicos, económicos y ambientales relacionados con la implementación de nuevas tecnologías en el alumbrado público. Esto permite tomar decisiones y diseñar sistemas de iluminación más eficientes y sostenibles

FUENTE: elaboración propia en base a investigación

#### 1.3.4. Formulación del problema

De qué manera la ausencia de un sistema de monitoreo inalámbrico genera una deficiencia en la alerta temprana contra fallas de funcionamiento en el sistema de alumbrado público en el distrito uno del municipio de Quillacollo.

## **1.4. OBJETIVOS**

### **1.4.1. Objetivo general**

Diseñar un sistema de monitoreo inalámbrico para detectar fallas de funcionamiento en las cajas de distribución del sistema de alumbrado público para el distrito uno del municipio de Quillacollo.

### **1.4.2. Objetivos específicos**

- Realizar un relevamiento de la infraestructura, funcionamiento y plan de contingencia contra fallas de funcionamiento del sistema de alumbrado público en la zona del distrito uno del municipio de Quillacollo.
- Determinar el tipo de sensores que permita enviar información del estado de funcionamiento de las cajas de distribución del alumbrado público.
- Determinar la tecnología de comunicación necesaria para el envío de información.
- Diseñar el sistema de comunicación de aviso de fallas de funcionamiento de cajas de distribución del alumbrado público

**CUADRO N°2: OBJETIVOS ESPECÍFICOS Y ACCIONES**

Objetivos específicos	Acciones
Realizar un relevamiento de la infraestructura, funcionamiento y plan actual de contingencia contra fallas del sistema de alumbrado público en la zona del distrito uno del municipio de Quillacollo.	<ul style="list-style-type: none"><li>• Realizar un relevamiento de los componentes de las cajas de distribución del sistema del alumbrado público, identificando sus características técnicas.</li><li>• Analizar el procedimiento de acción frente a fallas del sistema de alumbrado público.</li><li>• Realizar una encuesta para identificar las principales fallas o problemas recurrentes en el sistema de alumbrado público.</li><li>• Referenciar geográficamente la ubicación de cada una de las de distribución del alumbrado público en el distrito uno del municipio de Quillacollo.</li></ul>

Dimensionar el sistema de recolección de datos del funcionamiento de las cajas de distribución del alumbrado público.	<ul style="list-style-type: none"> <li>•</li> </ul>
➤ Diseñar el sistema de comunicación de aviso de fallas de funcionamiento de cajas de distribución del alumbrado público	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Evaluar los canales de comunicación para el aviso de fallas frente a problemas de funcionamiento</li> <li>• Analizar la compatibilidad de las diferentes tecnologías en base a los canales de comunicación requeridos Determinar el sistema de comunicación de fallas al personal del sistema de alumbrado público</li> </ul>

## 1.5. HIPÓTESIS

### 1.5.1. Planteamiento de la hipótesis

Con el diseño de un sistema de monitoreo inalámbrico, se pretende detectar fallas de funcionamiento del alumbrado público en el municipio de Quillacollo, con el cual se espera poder informar de este hecho a la entidad encargada del alumbrado público en el municipio de Quillacollo.

### 1.5.2. Variable independiente

Diseño de un sistema de monitoreo basado en tecnología inalámbrica.

### 1.5.3. Variable dependiente

Detección limitada de fallas de funcionamiento en las cajas de distribución del sistema de alumbrado público en el distrito uno del municipio de Quillacollo.

## **1.6. JUSTIFICACIÓN**

### **1.6.1. Justificación técnica**

Los sistemas de monitoreo inalámbrico en la actualidad, están en crecimiento exponencial y están orientados a realizar acciones en función de información recopilada, las redes de censores permiten conectar dispositivos que recogen información de manera remota y permiten el envío de esta a centrales de comunicación esto genera un sinfín de aplicaciones, entre las cuales se encuentran la prevención de fallas y el control de cualquier sistema tecnológico mediante la obtención de datos en tiempo real. El monitoreo de fallas inalámbrico permite lograr una eficiencia en el funcionamiento de los dispositivos de las cajas de distribución del alumbrado público, permitiendo obtener el estado de las áreas sin servicio por los cortes de energía.

### **1.6.2. Justificación económica**

El proyecto representa un impacto económico porque la sensación de seguridad que proyecta, una ciudad bien iluminada, resulta más atractiva para explorarla de noche, generando una mayor afluencia de clientes en comercios locales como tiendas, restaurantes, bares y cafeterías en horarios nocturnos, este aumento de visitantes beneficia a los comercios locales y generará una mejor imagen del municipio, lo que atraerá nuevos inversores interesados en abrir empresas, generando mayor crecimiento económico para el municipio.

### **1.6.3. Justificación Social**

El sistema inalámbrico de control de funcionamiento para las cajas de distribución de alumbrado público favorece a la población porque los reportes de fallas o cortes de servicio de alumbrado público serán en tiempo real lo cual ayudará a contribuir con la seguridad ciudadana reduciendo los espacios oscuros y generando mayor confianza a la población para disfrutar de la ciudad en horarios nocturnos, mejorando la calidad de vida y bienestar en los residentes de la provincia.

## **1.7. DISEÑO METODOLÓGICO**

### **1.7.1. Tipo de investigación**

El proyecto se basa como un proyecto descriptivo debido a que se realizará una recopilación de datos sobre el estado actual del sistema del alumbrado público del distrito uno del municipio de Quillacollo, como ser la cantidad, componentes y el estado de mantenimiento de las cajas de distribución, permitiendo tener una base sólida de información sobre la situación actual.

Así mismo el proyecto también se enfocará en un tipo de investigación explicativo debido a que se pretende identificar las causas de las fallas en las cajas de distribución del alumbrado público, lo cual implica investigar factores como envejecimiento de las luminarias, problemas eléctricos, naturales, vandalismo u otros elementos que pueden contribuir en las fallas.

### **1.7.2. Enfoque de la investigación**

El proyecto es un diseño no experimental, ya que en este tipo de diseño el investigador observa y recopila datos, para el presente proyecto se recopilarán datos sobre el estado actual del sistema de alumbrado público sin intervenir ni manipularlos.

Debido a que se desarrollara un proyecto no experimental y con un estudio en el cual implica la recopilación de información a lo largo del tiempo, se realizará la recopilación de datos sobre el estado actual del sistema del alumbrado público y luego la recopilación de datos sobre las causas subyacentes de las fallas, dado que estos datos se recopilarán en un periodo de tiempo diferente corresponderá a un enfoque longitudinal.

### 1.7.3. Técnicas de investigación

**CUADRO 1: DECLARACIÓN DE USO DE INSTRUMENTOS**

Tipo	Instrumento	A quién o a qué	Para qué
Teórico	Tabla de comparación de contenidos	Familias de microcontroladores.	Para mostrar las diferencias clave entre dispositivos.
	Mapa mental	Causas de las fallas en el alumbrado público.	Para identificar relaciones entre variables.
	Diagrama de Gantt	Fases o tareas a realizar.	Para planificar el cronograma del proyecto.
	Diagrama de Venn	En la selección de las diferentes tecnologías.	Para mostrar las áreas de superposición y las diferencias entre los conjuntos.
Empírico	Observación (tipo)	Sistema de alumbrado público.	Para analizar los componentes del sistema.
	Encuestas	Residentes del municipio de Cochabamba.	Para comprender las necesidades y preocupaciones relacionadas con el alumbrado público.
	Entrevista	Encargados del alumbrado público.	Para recopilar información sobre los sistemas de alumbrado público.
	Estudio de casos	Casos de diseño de sistemas de monitoreo.	Para estudiar y analizar las soluciones.
Matemático	Tabla de resultados estadísticos	Resultados de encuestas.	Para justificar la necesidad del sistema de monitoreo.
	Análisis de regresión	Relaciones entre variables	Para investigar como los diferentes factores afectan las tasas de fallas.
	Análisis de costos	Componentes del sistema de monitoreo.	Para saber los costos del proyecto en caso de implementación.

FUENTE: Elaboración propia

### 1.7.4. Población y muestra

La población de municipio de Quillacollo según proyecciones INE (Instituto Nacional de estadística,2012) es de 55.142 personas.

## IMAGEN N°2: VARIABLES DE MUESTREO

n- tamaño de la muestra  
N- población total, o, universo  
z- porcentaje de fiabilidad  
p- probabilidad de ocurrencia  
q- probabilidad de no ocurrencia  
e- error de muestreo

FUENTE: <https://www.thesisworkshop.com/>

### ➤ Calculo de muestra

$$n = \frac{(Z)^2 * N * P * q}{(e)^2 * (N - 1) + (Z)^2 * P * q}$$
$$= \frac{(Z)^2 * N * P * q}{(e)^2 * (N - 1) + (Z)^2 * P * q} = 165$$

Donde:

N= 185.142

n=?

z= 1.96

P= 0.5

q= 0.5

e= 10

Realizando el cálculo correspondiente se obtienen 165 personas en el municipio de Quillacollo como muestra.

## **1.8. ALCANCES Y LIMITACIONES**

### **1.8.1. Alcances**

- El proyecto plantea un prototipo funcional de un sistema de alerta monitoreo y alerta contra fallas del funcionamiento de cajas de distribución de alumbrado público del distrito uno del municipio de Quillacollo
- Se realizará un relevamiento sobre el procedimiento de acción frente a fallos en cajas de distribución de alumbrado público por parte del personal correspondiente.
- Se realizarán los cálculos necesarios para justificar la viabilidad de la comunicación por radiofrecuencia
- El proyecto incluye la implementación de un prototipo funcional para cumplir el objetivo general

### **1.8.2. Limitaciones**

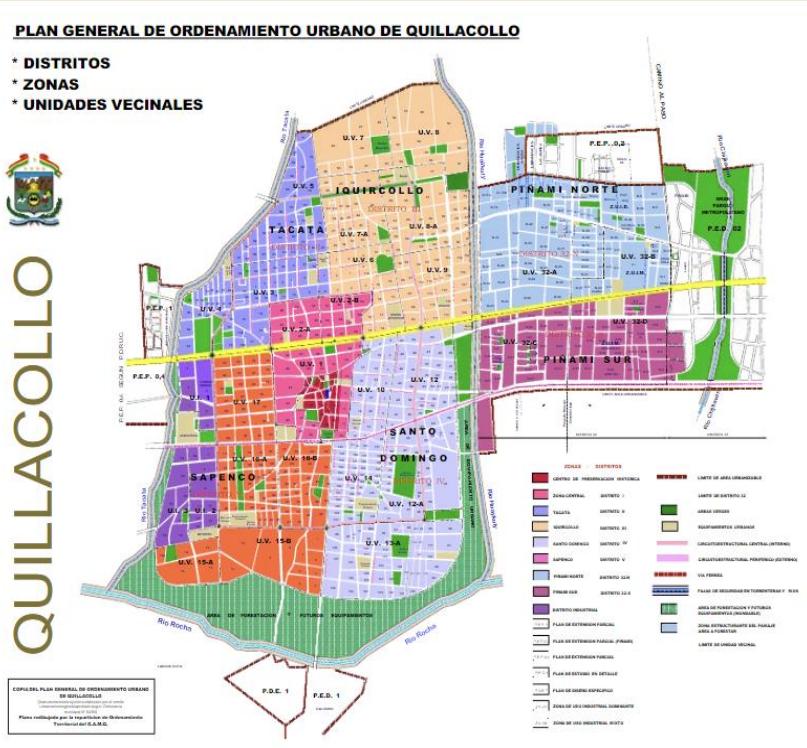
- Límite temporal

El presente proyecto se llevará a cabo en un periodo de tiempo de 6 meses que abarcará desde febrero hasta julio de 2024.

- Límite geográfico

El proyecto se limita a la zona de estudio del distrito I del municipio de Quillacollo vista en la siguiente imagen marcada de color rosado, zona que corresponde a la zona central de Quillacollo.

## **IMAGEN N°3: PLANO GENERAL DE ORDENAMIENTO DE QUILLACOLLO**



FUENTE:[https://es.scribd.com/embeds/719525509/content?start\\_page=1&view\\_mode=scroll&access\\_key=key-DXFMrVntRav5tlToCCWR](https://es.scribd.com/embeds/719525509/content?start_page=1&view_mode=scroll&access_key=key-DXFMrVntRav5tlToCCWR)

# **CAPÍTULO II**

# **MARCO TEÓRICO DEL**

# **PROYECTO**

## **MARCO TEÓRICO**

---

### **CAPÍTULO II**

#### **MARCO TEÓRICO DEL PROYECTO**

##### **2.1. ALUMBRADO PÚBLICO**

El alumbrado público es un servicio cuyo objetivo es iluminar espacios públicos en horarios nocturnos brindando visibilidad a la ciudadanía. Según (Torres Martínez et al., 2007) es un servicio público no domiciliario que se presta con el fin de iluminar lugares de libre circulación, que incluyen las vías públicas, los parques y demás espacios que se encuentren a cargo del municipio, con el fin de permitir el desarrollo de actividades nocturnas dentro del perímetro urbano y rural. (pag,4).

##### **2.1.1. LUMINARIAS**

Una luminaria es un dispositivo que sirve para el control y la dispersión de luz emitida por una lámpara, está diseñada para distribuir la luz por su diseño óptico, además son aparatos que sirven de soporte en la conexión de red eléctrica(lummi, s. f.)

###### **2.1.1.1. Partes de las Luminarias de Alumbrado**

###### **➤ Carcasa**

Es aquel elemento que integra los demás componentes de la luminaria. Suele estar fabricada de componentes resistentes.

###### **➤ Equipo electrónico**

Lo conforma el portalámparas y los elementos de arranque de la lámpara.

###### **➤ Reflectores**

Superficies que dirige y reflejan el flujo luminoso de las lámparas en la dirección deseada.

###### **➤ Difusor**

Carcasa de cierre de la lámpara encargada de distribuir la luz y evitar el deslumbramiento.

## MARCO TEÓRICO

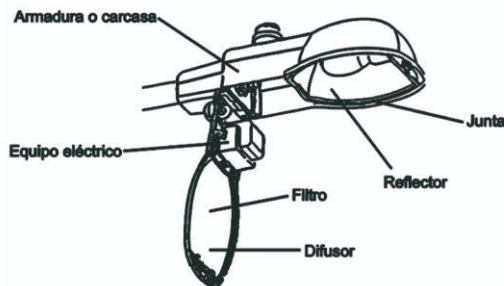
### ➤ Filtro

Se acopla al difusor y es el encargado de disminuir la distorsión visual.

### ➤ Soporte o báculo

Es aquel elemento encargado de sujetar la luminaria(Forjas, s. f.).

**IMAGEN N°4: PARTES DE LAS LUMINARIAS**



FUENTE: <https://grlum.dpe.upc.edu/manual/sistemaslluminacion-luminarias-componentes.php>

## 2.2. REDES INALÁMBRICAS

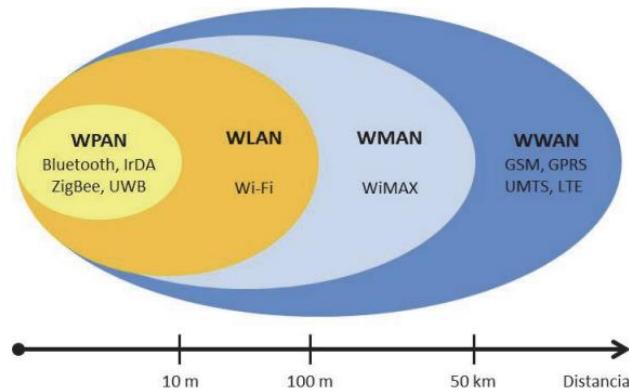
Las redes inalámbricas son redes de conexión de datos que permiten transmitir datos sin necesidad de medios cableados. De acuerdo con (Salazar, 2012) las redes inalámbricas son conexiones en la cual los datos se transmitem a través de ondas electromagnéticas las cuales permiten la conexión sin una conexión cableada.

### 2.2.1. Tipos de redes inalámbricas

Las redes inalámbricas se clasifican en redes inalámbricas de área personal (Wireless Personal-Area Networks - WPAN), redes inalámbricas de área local (Wireless Local-Area Networks - WLAN), redes inalámbricas de área metropolitana (Wireless Metropolitan-Area Networks - WMAN), y redes inalámbricas de área amplia (Wireless Wide-Area Networks - WWAN). En la figura N° 4 se muestran los 4 tipos.

## MARCO TEÓRICO

IMAGEN N°5: CLASIFICACION DE LAS REDES INALAMBRICAS



FUENTE: (Salazar, 2012)

### 2.2.2. Redes inalámbricas de área personal (WPAN)

Las redes inalámbricas de área personal son utilizadas para conexiones de corto alcance máximo de 10 m, esta reguladas por el estándar IEEE 802.15 estas redes no requieren una infraestructura extensa, lo cual las hace ideales para soluciones pequeñas, eficientes en energía y de bajo costo (Salazar, 2012)

### 2.2.3. Redes inalámbricas de área local (WLAN)

Las redes inalámbricas de área local están diseñadas para proporcionar acceso en un rango de hasta 100 m, lo que las hace más útiles en entornos domésticos, escolares y oficinas, están basadas en el estándar IEEE 802.11, el cual incluye varios subestándares para las redes inalámbricas como el IEEE 802.11b, ofreciendo hasta 11 Mbps en la banda 2.4 GHz, el 802.11g proporcionando mayor ancho de banda y compatible con dispositivos 802.11b y 802.11g utilizando la banda de 2.4 GHz.

## MARCO TEÓRICO

**IMAGEN N°6: ESQUEMA DE WLAN EN EL HOGAR**



FUENTE:(Salazar, 2012)

### 2.2.4. Redes inalámbricas de área metropolitana (WMAN)

Las redes inalámbricas de área metropolitana están basadas en el estándar IEEE 802.16, esta permite que las redes LAN más pequeñas se conecten entre sí formando una gran WMAN y posibilitando la interconexión entre ciudades sin la necesidad de cableado costoso, como sucede con WiMax la cual es una tecnología de comunicaciones diseñada con una arquitectura punto multipunto, orientada a ofrecer alta velocidad de transmisión de datos en redes metropolitanas.

**IMAGEN N°7: DIAGRAMA DE UNA RED WIMAX**



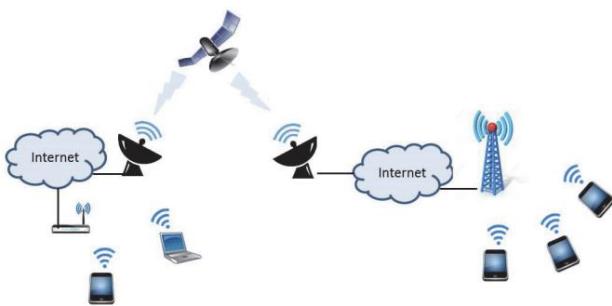
FUENTE:(Salazar, 2012)

## MARCO TEÓRICO

### 2.2.5. Redes de área extensa

Las redes inalámbricas de área amplia cubren hasta los 50 km y usan frecuencias con licencia, estas redes se utilizan entre grandes áreas como ciudades o países, existen dos tecnologías que son telefonía móvil y comunicación satelital.

**IMAGEN N°8: REDES DE TELÉFONIA MÓVIL Y DE SATÉLITE**



FUENTE:(Salazar, 2012)

## 2.3. TECNOLOGIAS DE COMUNICACIÓN

### 2.3.1. TECNOLOGÍA WIFI

Wifi son estándares para redes inalámbricas (WLAN) basados en el estándar IEEE 802.11 del instituto de ingenieros eléctricos y electrónicos (IEEE), que se creó para reemplazar las capas físicas (PHY) y de acceso MAC del estándar IEEE 802.3, conocido como ethernet. En la cual la principal diferencia entre ambas es la forma de acceso a la red. Los estándares IEEE 802.11b e IEEE 802.11g son muy populares a nivel mundial porque la banda de 2.4 GHz está casi universalmente disponible, ofreciendo velocidades de hasta 11 Mbps y 54 Mbps, respectivamente(Andrade et al., 2008).

La tecnología WIFI ofrece la posibilidad de establecer conexiones flexibles, las cuales se convierten en una alternativa para las redes cableadas. Estas redes son

## MARCO TEÓRICO

útiles para lugares donde las computadoras no pueden ser fijas(Carballar & Falcón, 2010).

### Arquitectura

Una red wifi está compuesta por los siguientes componentes:

#### (a) Estaciones

Las estaciones son los dispositivos con interfaces de red, generalmente laptop o computadoras.

#### (b) Punto de acceso (Access point - AP)

Dispositivo que sirve para gestionar la comunicación entre los adaptadores.

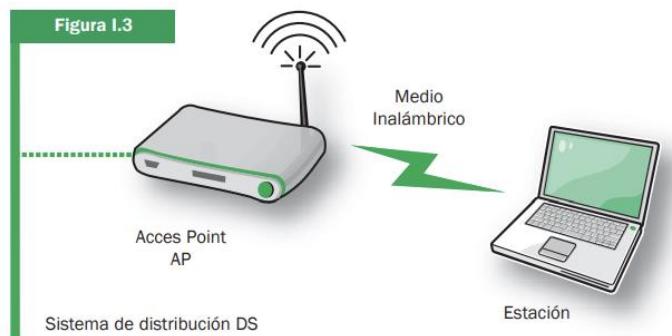
#### (c) Medio inalámbrico

La transmisión de datos de wifi es mediante ondas electromagnéticas entre las cuales están las señales de radio y las emisiones por infrarrojo.

#### (d) Sistema de distribución

Los Ap son conectados a sistemas de distribución para poder alcanzar mayor distancia de cobertura, la cual ofrece mayor movilidad a las estaciones

### IMAGEN N°9: ARQUITECTURA DE RED WIFI



FUENTE: (Andrade et al., 2008)

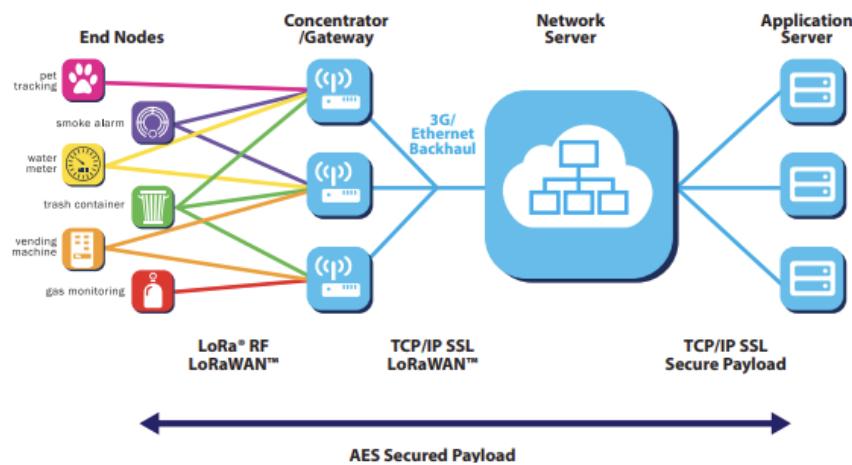
## MARCO TEÓRICO

### 2.3.2. TECNOLOGÍA LORA

La tecnología LoRa es una tecnología que proporciona un entorno LPWAN de Lora WAN, en los cuales los dispositivos transmiten datos con frecuencia de radio moduladas, con la ayuda de la tecnología Lora, LoraWAN transmite datos a una distancia de aproximadamente 10 Km con bandas de frecuencia que son específicas según la región donde se las implemente como 915 MHz y 868 MHz para América del norte y Europa (Unir, s. f.).

#### 2.3.2.1. Arquitectura de red Lora

Lora utiliza una arquitectura de red en forma de estrella en la cual los nodos se conectan a los nodos finales individuales transmiten la información a otros nodos para aumentar el alcance de cobertura, lo que sucede con la red de lora es que los nodos se conectan a los gateway y estos se conectan a un servidor para transmitir la información.



FUENTE:(Lora alliance, 2015)

## MARCO TEÓRICO

### 2.3.2.2. Elementos de una red LoraWan

- Nodos: Son los dispositivos finales que transmiten la información con el protocolo LoraWan, por ejemplo, estos dispositivos pueden ser sensores, actuadores, etc.
- Gateways: Es el dispositivo al que se conectan varios nodos por el cual transmiten la información a través del servidor.
- Network Server: Es el encargado de controlar la red y la lógica de la comunicación que existe entre los nodos y el Gateway.
- Application Server: Es el encargado de gestionar los datos que se comunican a través del protocolo LoraWAN, el cual dependiendo del servidor de red comiscara con MQTT, Modbus TCP, y otros. (Becolve Digital, 2022)

## 2.4. SENSORES

Los sensores son dispositivos los cuales ayudan a los humanos a percibir características como luz, movimiento, sonido, etc. por esta razón es más común encontrar sensores en áreas tecnológicas. Los dispositivos que llevan integrados sensores según su programación reaccionan a la información que reciben de los sensores (Serna et al., 2010).

### 2.4.1. Clasificación de sensores

Debido a la gran variedad de sensores, existe una amplia clasificación de sensores que mencionaremos en el siguiente cuadro según su funcionamiento, las señales que proporciona, su fabricación y la naturaleza de su funcionamiento.

## MARCO TEÓRICO

CUADRO N°3: CLASIFICACION DE SENSORES

CLASIFICACIÓN	TIPO
De acuerdo al funcionamiento	<ul style="list-style-type: none"><li>• Activos</li><li>• Pasivos</li></ul>
De acuerdo con las señales que proporcionan	<ul style="list-style-type: none"><li>• Analógico</li><li>• Digitales</li></ul>
De acuerdo con la naturaleza de funcionamiento	<ul style="list-style-type: none"><li>• Posición</li><li>• Fotoeléctricos</li><li>• Temperatura</li><li>• Humedad</li><li>• Presión</li><li>• Movimiento</li><li>• Químicos</li></ul>
Por su fabricación	<ul style="list-style-type: none"><li>• Mecánicos</li><li>• Resistivos</li><li>• Capacitivos</li><li>• Inductivos</li><li>• Piezoelectrinos</li><li>• Semiconductores</li></ul>

FUENTE: Elaboración propia en base a (Serna et al., 2010)

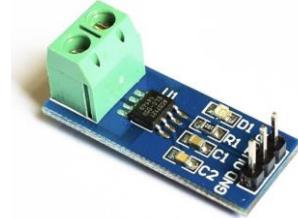
### 2.4.1.1. Sensores de corriente

#### ➤ Sensor ACS712 30A

Es un sensor de efecto Hall que detecta el campo magnético debido a la corriente que ingresa y entrega una salida de voltaje proporcional a la corriente este modelo soporta hasta 30 A en AC o DC(naylampmechatronics, s. f.).

## MARCO TEÓRICO

### IMAGEN N°10: SENSOR ACS712



FUENTE: [https://naylampmechatronics.com/blog/48\\_tutorial-sensor-de-corriente-acs712.html](https://naylampmechatronics.com/blog/48_tutorial-sensor-de-corriente-acs712.html)

### CUADRO N°4: ESPECIFICACIONES Y CARACTERÍSTICAS DEL SENSOR ACS712 30A

Especificación	Característica
<b>Modelo</b>	ACS712ELCTR-30A-T
<b>Voltaje de Trabajo</b>	5v
<b>Rango MÁximo</b>	30 A
<b>Salida</b>	100 mV/A
<b>Resistencia interna</b>	1.2 mΩ

FUENTE: [https://naylampmechatronics.com/blog/48\\_tutorial-sensor-de-corriente-acs712.html](https://naylampmechatronics.com/blog/48_tutorial-sensor-de-corriente-acs712.html)

#### ➤ Sensor de corriente AC no invasivo - SCT-013 (30A)

El sensor de corriente es capaz hasta un valor de 30 A enganchando la pinza sobre la linea que se debe medir produce un voltaje proporcional a la corriente del cable (de 0 a 1V, donde 1V es 30 A), el sensor es muy útil para medir el consumo eléctrico(tienda.bricogeeek, s. f.) .

## MARCO TEÓRICO

IMAGEN N°11: SENSOR DE CORRIENTE SCT-013



FUENTE: <https://tienda.bricogeek.com/sensores-corriente/425-sensor-de-corriente-ac-no-invasivo-30a.html>

CUADRO N°5: ESPECIFICACIONES DEL SENSOR SCT-013 (30A)

Especificación	Característica
Modelo	SCT-013-030
Voltaje de Trabajo	5v
Rango Máximo	30 A
Salida	(0 – 1)Vrms
Resistencia interna	62 Ω

FUENTE: <https://naylampmechatronics.com/sensores-corriente-voltaje/154-sensor-de-corriente-ac-30a-no-invasivo-sct-013-030.html>

### ➤ Sensor de corriente ACS758LCB:

Es un sensor capaz de medir corriente alterna o continua es usado en control de motores, detección y gestión de cargas, es basado en el sensor de efecto hall allegro IC ACS758LCB-050B.(electronilab, s. f.)

IMAGEN N°12: SENSOR DE CORRIENTE ACS758LCB

## MARCO TEÓRICO

---



FUENTE: <https://electronilab.co/tienda/sensor-corriente-efecto-hall-50a-cjmcu-758-ac758lcb-050b-pff-t/>

Las especificaciones del sensor ACS758LCB 50<sup>a</sup>, se encuentran en el siguiente cuadro, con las características asociadas a su funcionamiento que son útiles para el desarrollo de este proyecto

**CUADRO N°6: ESPECIFICACIONES DEL SENSOR  
ACS758LCB 50A**

Especificación	Característica
<b>Modelo</b>	SCT-013-030
<b>Voltaje de Trabajo</b>	3 a 5 V
<b>Rango Máximo</b>	50 A
<b>Salida</b>	3 mA
<b>Resistencia interna</b>	62 Ω

FUENTE: <https://electronilab.co/tienda/sensor-corriente-efecto-hall-50a-cjmcu-758-ac758lcb-050b-pff-t/>

## MARCO TEÓRICO

---

### 2.5. MICROCONTROLADORES

Los microcontroladores son dispositivos integrados que combinan un procesador, memoria y periféricos programables en un solo chip. Son esenciales en aplicaciones electrónicas como la automatización del hogar, la robótica y sistemas automotrices, ya que permiten el control y monitoreo eficiente de procesos específicos. Estos dispositivos incluyen una CPU que ejecuta instrucciones, memoria no volátil para almacenar el programa, RAM para datos temporales, y puertos de entrada/salida para interactuar con dispositivos externos como sensores y actuadores. Además, cuentan con interfaces de comunicación como UART, SPI e I2C, y convertidores analógico-digital (ADC) y digital-analógico (DAC) para procesar señales.

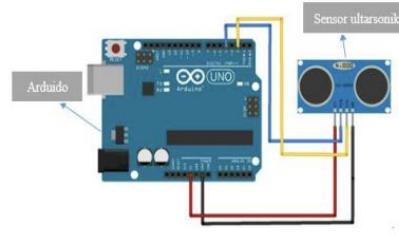
Los microcontroladores son ampliamente utilizados debido a su capacidad para realizar tareas específicas con alta eficiencia y bajo consumo de energía. Esto los hace ideales para dispositivos que requieren un control preciso y confiable (Sempértegui et al., 2022)

#### 2.5.1. Arduino UNO

El Arduino es una plataforma de hardware y software libre ampliamente utilizada en proyectos de electrónica y programación. Basado en el microcontrolador ATmega328, el Arduino Uno es uno de los modelos más populares, con 14 pines digitales de entrada/salida, seis entradas analógicas, y capacidad para comunicarse a través de USB. Es especialmente valorado por su facilidad de uso, lo que lo convierte en una herramienta ideal tanto para principiantes como para expertos en el desarrollo de prototipos y aplicaciones de IoT (Susilo et al., 2021)

## MARCO TEÓRICO

IMAGEN N°13: ARDUINO UNO CON SENSOR ULTRASONICO



FUENTE:(Susilo et al., 2021)

### 2.5.2. ESP 32 LoRa Heltec

El Lora32 es un microcontrolador de IoT que emplea tecnología de radio LoRa para transmitir datos a largas distancias con bajo consumo energético. Es ideal para monitoreo remoto de sensores (temperatura, humedad, presión, etc.), control de dispositivos (sistemas de riego, iluminación, cámaras de seguridad), y aplicaciones en agricultura inteligente. Además, se utiliza en la seguridad en áreas remotas y para construir redes de sensores urbanos que mejoran la calidad del aire, monitorean el tráfico y previenen inundaciones. En resumen, Lora32 optimiza la eficiencia y seguridad en diversas industrias mediante el monitoreo y control remoto (mechatronicstore, s. f.).

IMAGEN N°14: MÓDULO LORA HELTEC ESP32



FUENTE: <https://www.mechatronicstore.cl/modulo-heltec-lora-32-863-928-mhz-con-pantalla-oled-de-0-96/>

## MARCO TEÓRICO

### 2.5.3. STM32

Los dispositivos STM32F446 C/E están basados en el núcleo RISC ARM Cortex-M4 de 32 bits, que opera a una frecuencia de hasta 180 MHz. Este núcleo incluye una unidad de punto flotante (FPU) para procesamiento de datos de precisión simple y un conjunto completo de instrucciones DSP, además de una unidad de protección de memoria (MPU) para mejorar la seguridad. Estos dispositivos incorporan memorias rápidas integradas: hasta 512 Kbytes de memoria flash, 128 Kbytes de SRAM, y 4 Kbytes de SRAM de respaldo. Tienen una amplia gama de pines I/O mejorados y periféricos conectados a dos buses APB, dos buses AHB y una matriz de buses AHB de 32 bits (tecbolivia, s. f.).

IMAGEN N°15: STM 32



FUENTE: <https://uy.mouser.com/new/stmicroelectronics/stm32/>

### 2.6. Principios de transmisión de datos

Los sistemas de transmisión de datos son fundamentales para el funcionamiento de los sistemas de cómputo, permitiendo el transporte eficiente de información. Sin estos sistemas, no sería posible tener redes avanzadas de procesamiento distribuido, donde la transferencia rápida y a gran escala de datos entre computadoras a nivel mundial es esencial para el engranaje económico, político y social. Estos sistemas son cruciales en redes con enlaces mayores a 20 metros. Las redes pueden variar desde conexiones simples entre una computadora y un periférico, hasta conexiones complejas que integran varios terminales de cómputo con centros de datos especializados o redes locales en empresas. Estas conexiones

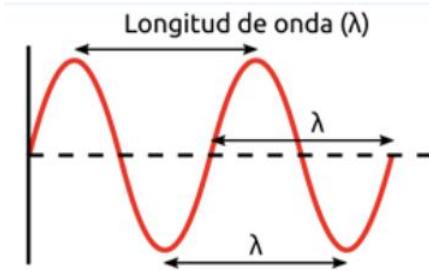
## MARCO TEÓRICO

aseguran la interconexión eficiente y la transferencia de datos entre múltiples dispositivos (Zúñiga López, 2005).

### 2.6.1. Longitud de Onda

En una onda periódica, la longitud de onda es la distancia física entre dos puntos equivalentes donde la onda se repite. Esta distancia se representa con la letra griega lambda ( $\lambda$ ). La longitud de onda es un concepto importante en la descripción de ondas, ya que determina aspectos clave de la propagación de la onda y sus propiedades (Longitud de Onda y Frecuencia, s.f.).

IMAGEN N°16: LONGITUD DE ONDA



FUENTE: [https://esero.es/practicas-en-abierto/decodifica-imagenes-iss/longitud\\_de\\_onda\\_y\\_frecuencia.html](https://esero.es/practicas-en-abierto/decodifica-imagenes-iss/longitud_de_onda_y_frecuencia.html)

### 2.6.2. Frecuencia

La frecuencia de la onda de tensión debe mantenerse dentro de límites estrictos para asegurar un suministro eléctrico de calidad. Desviaciones significativas del valor nominal pueden causar mal funcionamiento en equipos industriales y domésticos. Por ejemplo, motores pueden operar a velocidades incorrectas y relojes o sistemas automatizados que dependen de la frecuencia de la alimentación pueden adelantar o retrasar. Es crucial que la frecuencia se mantenga estable para evitar estos problemas y garantizar la eficiencia y precisión de los dispositivos conectados.

## MARCO TEÓRICO

### 2.6.3. Ancho de banda

El ancho de banda es el mecanismo utilizado para medir la cantidad de información transmitida en un segundo a través de un canal de transmisión, expresado en Hertz. Sin embargo, esta definición se ha malinterpretado, ya que debería referirse solo como base para calcular la capacidad del medio. La tasa de transmisión se mide en bits por segundo (bps). Los ISP utilizan el ancho de banda para definir los planes de servicio, y la demanda de este recurso ha aumentado significativamente (Brand & Hohmann, 2001).

### 2.6.4. Sensibilidad de la señal

La sensibilidad del receptor se refiere a la potencia mínima que una señal debe tener al llegar al puerto de antena para ser decodificada correctamente. Esta sensibilidad puede verse afectada por interferencias, lo que degrada la calidad de la señal recibida. Un receptor con alta sensibilidad es comparable a una persona con buena audición, ya que ambos pueden captar señales débiles más eficientemente. Factores como la potencia de ruido térmico, el factor de ruido (NF) y la relación señal/ruido (SNR) mínima requerida juegan un papel crucial en la sensibilidad del receptor (¿Cuál es la sensibilidad del receptor?, 2020).

### 2.6.5. Perdida por espacio libre

En telecomunicaciones, la pérdida en el espacio libre se refiere a la disminución ideal de una señal cuando se propaga en un espacio con solo dos antenas, una de transmisión y otra de recepción. Esta pérdida depende únicamente de la distancia recorrida en el vacío, como en el caso de dos satélites, aunque también puede verse afectada por factores atmosféricos. Es un componente clave en la ecuación del radar. (Wolff, s.f.)

## 2.7. Modelos de propagación de señal

Los modelos de propagación son herramientas que permiten estimar la pérdida de potencia de una señal electromagnética mientras se propaga en un entorno y es

## MARCO TEÓRICO

recibida en un punto específico. La propagación de las señales electromagnéticas depende de las características del canal, por lo que no existe un modelo único que pueda predecir con precisión la pérdida en todos los entornos posibles. Algunos modelos ofrecen mayor precisión en ciertos casos específicos. (Eléctrica, s.f.)

### ➤ Modelos empíricos

Los modelos basados en medidas realizadas en un entorno específico son cruciales para obtener estimaciones precisas. Para obtener resultados realistas, es necesario realizar múltiples mediciones. Estos modelos son útiles como una primera aproximación en la planificación, aunque es importante considerar grandes márgenes de desvanecimiento (fading) para asegurar una buena predicción. (Eléctrica, s.f.)

### ➤ Modelos semi empíricos

Se toman en cuenta medidas realizadas y luego se ajustan a un modelo teórico establecido. Estos modelos se desarrollan considerando características del terreno, altura de las antenas y otros factores relevantes. Se analizan distintos escenarios y se realiza la predicción en función de uno de ellos; posteriormente, se aplican factores de ajuste en los otros escenarios, como la altura de los obstáculos y su densidad, para mejorar la precisión de las predicciones. (Eléctrica, s.f.)

### ➤ Modelos teóricos o determinados

Se basan en la teoría de propagación del rayo y utilizan técnicas como el trazado de rayos y la Teoría Uniforme de Difracción (UTD). Estos modelos son determinísticos y requieren una alta carga computacional, además del mantenimiento de grandes bases de datos sobre la topografía del terreno. (Eléctrica, s.f.)

## MARCO TEÓRICO

### 2.8. SERVIDORES DE RED

#### 2.8.1. SERVIDOR DE RED LORA LNS2

El LNS-2 es un servidor de red compatible con LoRaWAN® que asegura la interoperabilidad entre pasarelas y nodos finales en una red de sensores IoT. Utiliza programas informáticos y ordenadores de alta potencia para proporcionar diversos servicios a los usuarios. Estos servicios incluyen acceso y permisos de usuario, localización centralizada de recursos, acceso compartido a dispositivos IoT, y la gestión, cifrado y almacenamiento de datos. También ofrece funciones de mantenimiento como registro multinivel y diagnóstico remoto de pasarelas, además de una representación basada en mapas de los elementos de la red.

➤ **Características:**

- Herramientas de Gestión de Red

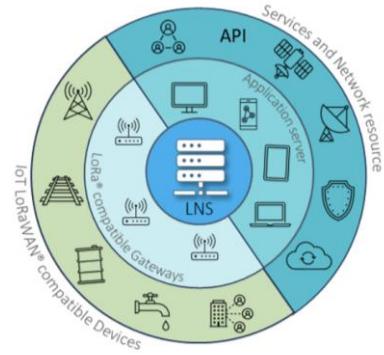
El sistema ofrece herramientas avanzadas para la gestión de la red, como monitoreo en tiempo real, gestión de estaciones base y gateways, y manejo de dispositivos, incluyendo configuración, tiempos de espera y alertas. La seguridad se garantiza mediante la identificación de usuario y la encriptación de mensajes.

- Flexibilidad de la Solución

La solución es altamente flexible, permitiendo integración con otras aplicaciones a través de API REST y soportando múltiples protocolos y formatos de datos. Facilita la gestión en tiempo real de eventos, alertas y notificaciones, y ofrece servidores de unión integrados o externos para la activación segura de dispositivos. Además, permite el envío de alertas tempranas a través de redes satelitales o terrestres compatibles con LoRaWAN en caso de anomalías, y soporta comunicación bidireccional con dispositivos IoT multibanda, incluyendo redes satelitales y terrestres en varias bandas ISM. (SERVIDOR DE RED LORA, 2024)

#### IMAGEN N°17: SERVIDOR LORA LNS2

## MARCO TEÓRICO



FUENTE: <https://proesystech.com/es/lora-network-server/#1687742774734-92406ba1-d236be41-477c3eb7-0bfd>

### 2.8.2. UBIDOTS

Ubidots es una plataforma de Internet de las Cosas que facilita a ingenieros, desarrolladores y empresas el despliegue rápido de soluciones IoT. Permite implementar estas soluciones sin necesidad de un equipo especializado en desarrollo de software, optimizando el tiempo de entrega a los clientes finales.

#### ➤ Características

- Sencillo, pero potente: Ubidots facilita la transformación digital, aumentando la eficiencia.
- Toma decisiones basadas en datos: Utiliza visualizaciones sin código, alertas inteligentes, reportes programados y análisis de datos.
- Industria 4.0 en semanas, no en meses: Conecta máquinas rápidamente usando conectores HTTP o MQTT y más de 60 integraciones IoT.
- Superación de silos de datos: Herramientas intuitivas que desbloquean información valiosa.

## MARCO TEÓRICO

- SCADA en la nube: Mejora los SCADA de su planta con visualizaciones en la nube y más de 20 widgets para monitoreo avanzado, gestión energética y mantenimiento inteligente. (ubidots, s.f.)

**IMAGEN N°18: UBIDOTS**



FUENTE: <https://es.ubidots.com/>

# **CAPÍTULO III**

# **MARCO PRÁCTICO**

## **MARCO PRÁCTICO**

---

### **CAPÍTULO III**

#### **MARCO PRÁCTICO DEL PROYECTO**

##### **3.1. RELEVAMIENTO DE LA INFRAESTRUCTURA, FUNCIONAMIENTO Y PLAN ACTUAL DE CONTINGENCIA CONTRA FALLAS DE FUNCIONAMIENTO EN LAS CAJAS DE DISTRIBUCIÓN DEL SISTEMA DE ALUMBRADO PÚBLICO EN LA ZONA DEL DISTRITO UNO DEL MUNICIPIO DE QUILLACOLLO**

Se relevarán los componentes eléctricos con los que se constituye una caja de distribución de alumbrado público en el municipio de Quillacollo, y se analizarán los procesos de contingencia ante fallas de la autoridad encargada.

###### **3.1.1. Relevamiento de los componentes de las cajas de distribución del sistema de alumbrado público**

El sistema de alumbrado público del municipio de Quillacollo está constituido por las luminarias, los postes de alumbrado y cajas de distribución. Las cajas de distribución centralizan la gestión de las luminarias de aproximadamente 15 a 20 luminarias dependiendo la distribución de postes, si existe una falla en alguna de las luminarias, dependiendo el caso, se puede generar un corte total en todo el grupo de luminarias de la caja a la cual pertenece.

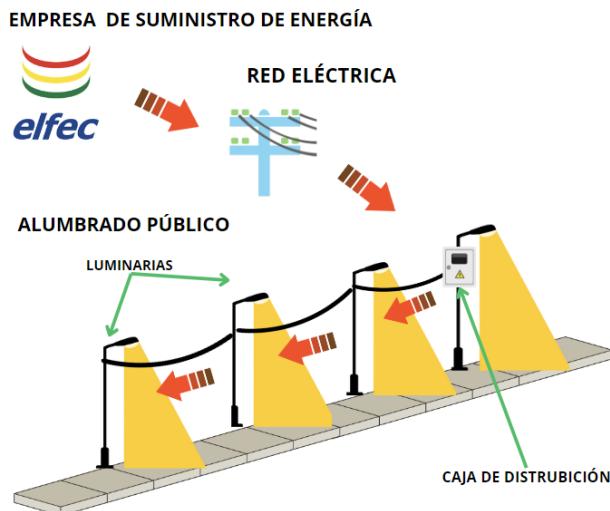
Las cajas de distribución están constituidas por componentes eléctricos de seguridad los cuales son utilizados para asegurar el funcionamiento o control de iluminación de manera óptima en base a las condiciones de los cambios de luz ambiental del alumbrado público en los tiempos correctos de funcionamiento, así mismo cuentan con medidor por el cual la entidad encargada del suministro de energía eléctrica (Elfec) lleva el control del consumo energético que cada caja de distribución genera.

En la siguiente imagen se encuentra el diagrama del sistema de alumbrado público donde se puede observar que existe una conexión en paralelo de las luminarias con respecto a la luminaria donde se encuentra la caja de distribución, que es la que

## MARCO PRÁCTICO

gestiona el suministro de energía eléctrica a las luminarias que se encuentra conectada a esta misma.

**IMAGEN N°19: DIAGRAMA DE DISTRIBUCIÓN**



FUENTE: Elaboración propia en base a información recolectada

Los componentes de las cajas de distribución son los siguientes:

➤ **Interruptor magnetotérmico**

El interruptor magnetotérmico, termomagnético, es un dispositivo eléctrico que protege contra sobrecargas y cortocircuitos en las cajas de distribución donde, al detectar una de esas anomalías, se activa cortando toda línea de energía eléctrica de luminarias dependientes de la caja de distribución en la que se encuentra.

➤ **Contactor monofásico**

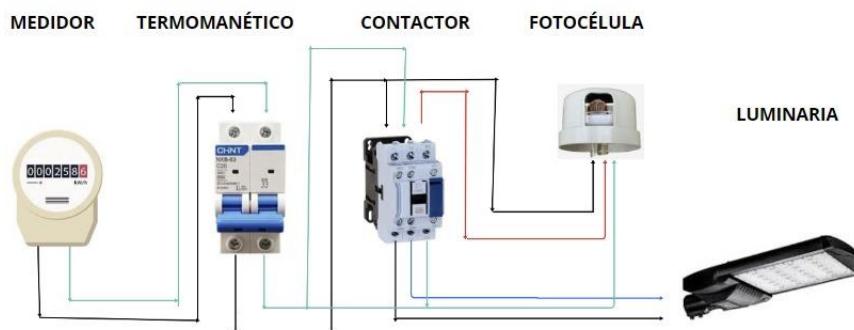
El contactor es un dispositivo eléctrico que cumple la función de apertura y cierre de circuitos eléctricos se usa para controlar el flujo de corriente junto con la fotocélula, actúa como un interruptor dentro de la caja de distribución.

## MARCO PRÁCTICO

### ➤ Fotocélula

La fotocélula es un dispositivo electrónico que controla la operación del contactor para que permita el flujo de energía a las luminarias, la fotocélula actúa según la luz del ambiente en el que se encuentra.

**IMAGEN N°20:** DIAGRAMA DE LOS COMPONENTES DE LAS CAJAS DE DISTRIBUCIÓN



FUENTE: Elaboración propia en base a información recolectada

En la imagen anterior se observa el diagrama de conexión de los componentes de las cajas de distribución del sistema de alumbrado público, en el cual se puede ver que las cajas de distribución requieren de dos líneas (Fase y Neutro) los cuales se encargan del suministro de energía eléctrica de a las cajas de distribución empezando por el medidor con el cual se controla el consumo de energía eléctrica que las luminarias conectadas a la caja consumen, seguido por el termomagnético el cual va conectado con la línea de fase al contactor y a la fotocélula, y con el cable neutro del termomagnético va conectado a dos extremos del contactor, el contactor se conecta a la fotocélula con el cable rojo y al foco con el cable azul. Las luminarias del alumbrado público son de 200 watts y los demás componentes manejan amperajes proporcionales a la cantidad de luminarias que tienen conectadas, manejas modelos entre 32 y 40 amperios de capacidad.

## MARCO PRÁCTICO

### 3.1.2. Procedimiento de acción ante fallas del sistema de alumbrado público

En la siguiente imagen se puede observar una infografía proporcionada por la dirección de alumbrado público del municipio de Quillacollo donde se muestra el proceso de acción ante fallas del sistema de alumbrado público, una vez producida la falla en el sistema de alumbrado público es necesario recibir un reporte por parte de la población para poden hacer la verificación y solución del problema, lo cual podría retrasar el proceso de verificación y solución de la falla debido a que pueden pasar varios días sin que la entidad encargada tenga conocimiento sobre el corte que se produjo.

**IMAGEN N°21: INFOGRAFIA DE PROCESOS EL PROTOCOLO DE ACCION ANTE FALLAS EN EL SISTEMA DE ALUMBRADO PÚBLICO**



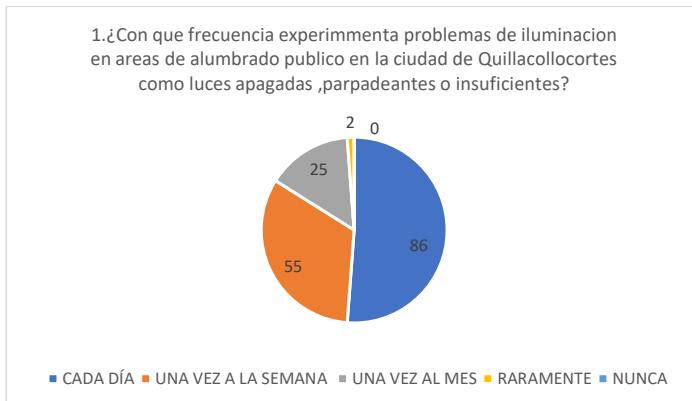
FUENTE: GOBIERNO AUTONOMO MUNICIPAL DE QUIILACOLLO

## MARCO PRÁCTICO

### 3.1.3. Análisis de encuesta de satisfacción del servicio ante fallas en el alumbrado público por parte de la entidad encargada.

A continuación, se analizará las respuestas de la muestra de la población a la cual se le realizó la encuesta.

IMAGEN N°22: PREGUNTA 1



FUENTE: Elaboración propia en base a encuesta

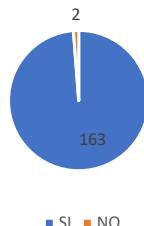
De acuerdo con la imagen N° que hace referencia a las respuestas adquiridas en la encuesta realizada en el municipio de Quillacollo 86 personas experimenta problemas de iluminación en áreas del alumbrado público 55 personas una vez a la semana, 25 personas una vez al mes, 2 personas respondieron raramente y 0 personas respondieron que nunca experimentaron problemas en el alumbrado público, lo que da a entender que la mayoría de las personas experimento o percibió problemas con las luminarias del alumbrado público.

En la pregunta 2 de 165 respuestas, solo dos personas respondieron que no experimento problemas de la iluminación en áreas de alumbrado público y el resto de las personas siendo 163 el número de respuestas que indican que si experimentaron fallas con el sistema de alumbrado público. En la siguiente imagen se puede constatar esto.

## MARCO PRÁCTICO

### IMAGEN N°23: PREGUNTA 2

2. ¿Usted ha experimentado problemas de iluminación, como luces apagadas o parpadeantes, en las áreas de alumbrado público el municipio de Quillacollo?



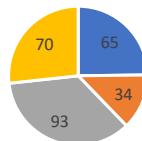
■ SI ■ NO

FUENTE: Elaboración propia en base a encuesta

La imagen N°24 la cual hace referencia a la pregunta 3, hace referencia al reporte de fallas que la población presenta cuando existe una falla de en el sistema de alumbrado público donde 65 personas respondieron que hicieron el reporte a través de la línea telefónica, 34 personas hicieron el reporte en las oficinas de alumbrado público 93 personas no conocían los canales de comunicación que existen para hacer el reporte y 70 personas no consideraron hacer el reporte dando un total de 165 respuestas otorgadas por los habitantes del municipio de Quillacollo, en base a las respuestas puede determinar que la mayoría de las personas no saben cómo realizar un reporte de fallas en el alumbrado público o no lo consideran importante

### IMAGEN N°24: PREGUNTA 3

3. ¿Si ha experimentado problemas de iluminación, ha reportado estas fallas a las autoridades o empresas responsables?



■ Si, a través de una línea telefónica  
■ No, no sabía como reportar la falla

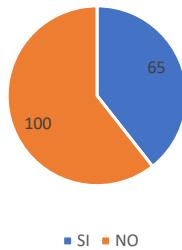
■ Si, en persona en las oficinas de alumbrado público  
■ No, no consideré importante reportarlo

FUENTE: Elaboración propia en base a encuesta

## MARCO PRÁCTICO

### IMAGEN N°25: PREGUNTA 4

4. ¿Usted tiene conocimiento de cuál es el número de la línea telefónica de atención al cliente del alumbrado público en el municipio de Quillacollo?

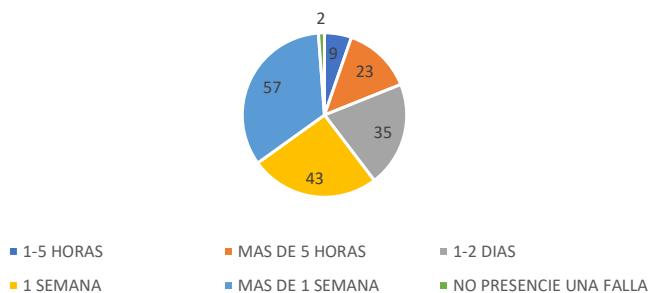


FUENTE: Elaboración propia en base a encuesta

En la pregunta 4 en la cual las respuestas se pueden observar en la imagen N° 14, la cual hace referencia al conocimiento del número telefónico de atención al cliente de las oficinas del alumbrado público del municipio de Quillacollo, en cual 100 personas respondieron que no tienen conocimiento de tal número telefónico y solo 65 lo conocen, lo cual hace referencia al desconociendo que la población presenta sobre los canales de comunicación con los que cuenta el personal de alumbrado público.

### IMAGEN N°26: PREGUNTA 5

5. ¿En caso de haber presenciado una falla de funcionamiento en el alumbrado público en el municipio de Quillacollo, en cuanto tiempo la falla ha sido reparada?

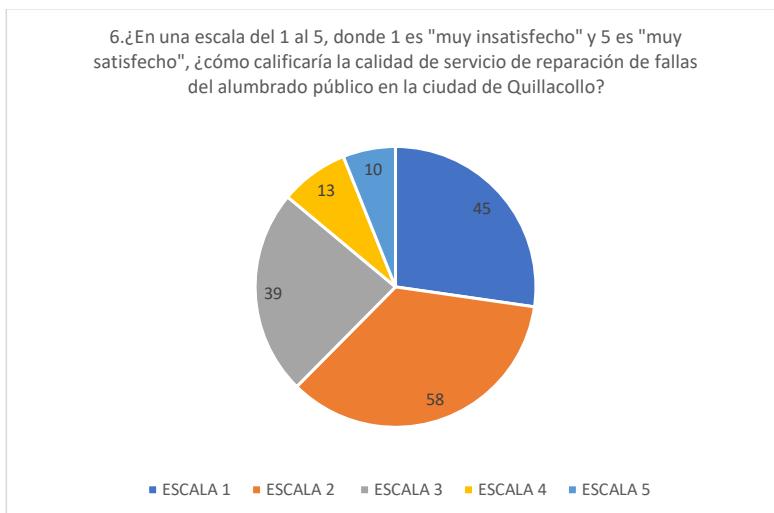


FUENTE: Elaboración propia en base a encuesta

## MARCO PRÁCTICO

En la pregunta 5 se puede evidenciar los tiempos que perciben los habitantes del municipio de Quillacollo, en los que una falla del sistema de alumbrado público es reparada siendo, "más de una semana" la respuesta más utilizada en la pregunta y una semana la segunda más respondida, demostrando que el tiempo en el que se encuentran sin el servicio de alumbrado público son muy extensas.

### IMAGEN N°27: PREGUNTA 6



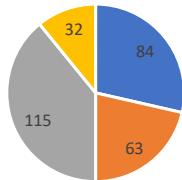
FUENTE: Elaboración propia en base a encuesta

La pregunta 6 hace referencia a la escala de satisfacción que tienen las personas a las que se les realizó la encuesta, en cuanto al servicio de reparación de fallas que ofrece la entidad encargada del alumbrado público en el municipio de Quillacollo siendo 1 muy insatisfecho y 5 muy satisfecho, 5 personas respondieron con la escala 2 y 39 personas con la escala 1 siendo el mayor porcentaje de las personas encuestadas, dando a entender que la población no está satisfecha con el servicio de reparación de fallas que la entidad encarga otorga a la población.

## MARCO PRÁCTICO

### IMAGEN N°28: PREGUNTA 7

7. ¿Qué mejoras te gustaría ver en el sistema de alumbrado público de Quillacollo? (Puedes seleccionar varias opciones)



- REPARACIÓN MÁS RÁPIDA DE FALLAS DE FUNCIONAMIENTO
- AUMENTAR LA CANTIDAD DE LUCES EN ÁREAS CLAVE
- AUMENTAR EL MANTENIMIENTO EN EL SISTEMA DE ALUMBRADO PÚBLICO
- OTAS

FUENTE: Elaboración propia en base a encuesta

En la anterior imagen se puede observar las respuestas de la pregunta 7 en donde se hace referencia a las mejoras que la población cree que son necesarias implementar dentro del sistema de alumbrado público, siendo un total de 165 respuestas y de ellas las respuestas más utilizadas son aumentar el mantenimiento en el sistema de alumbrado público y la reparación más rápida de fallas de funcionamiento en el sistema de alumbrado público, dando a entender que existe una problemática a tomar en cuenta con esos dos puntos.

Las encuestas permiten evidenciar la necesidad que surge de un mecanismo de mejora en aviso de fallas para que el tiempo de respuesta ante las mismas por parte del personal a cargo del mantenimiento sea más pronto.

#### **3.1.4. Referenciación geográfica de las ubicaciones de las cajas de distribución del alumbrado público del distrito uno del municipio de Quillacollo**

A continuación, se muestran las ubicaciones geográficas de los puntos donde se encuentran las cajas de distribución del alumbrado público.

## MARCO PRÁCTICO

## **IMAGEN N°29: MAPA DE LA UBICACIÓN DE LAS CAJAS DE DISTRIBUCIÓN**



FUENTE: Elaboración propia en base a información proporcionada por la entidad encargada

En la imagen N° se observa delimitada y marcada la región geográfica la cual corresponde al distrito I de Quillacollo, tomando en cuenta que el distrito es la zona central del municipio, siendo la zona de mayor afluencia de personas debido a que el lugar está lleno de negocios, plazas, paradas de transporte público, convirtiéndose en una de las zonas que más representa movimiento económico del municipio de Quillacollo, en la cual se ubican 14 postes de luminaria del sistema de alumbrado público, sitios donde se encuentran las cajas de distribución, cada caja de distribución suministra energía eléctrica a luminarias ubicadas en una cantidad promedio de 30 postes de alumbrado público, dicha cantidad varía en base al escenario urbano-geográfico de la distribución de calles y áreas verdes dentro el distrito I del municipio de Quillacollo.

## MARCO PRÁCTICO

**CUADRO N°7: UBICACIONES GEOGRAFICAS DE LAS CAJAS DE DISTRIBUCIÓN**

CAJA DE DISTRIBUCIÓN	LATITUD	LONGITUD	N° DE LUMINARIAS
1	17°23'48.56"S	66°16'53.72"O	27
2	17°23'31.01"S	66°16'59.65"O	28
3	17°23'30.00"S	66°16'48.17"O	26
4	17°23'38.81"S	66°17'4.78"O	25
5	17°23'38.20"S	66°16'51.12"O	30
6	17°23'44.03"S	66°16'57.39"O	27
7	17°23'45.35"S	66°16'45.03"O	26
8	17°23'53.09"S	66°16'56.98"O	28
9	17°23'54.29"S	66°17'6.78"O	30
10	17°24'2.19"S	66°17'9.73"O	27
11	17°24'0.99"S	66°17'0.71"O	20
12	17°24'0.56"S	66°16'53.48"O	24
13	17°24'2.32"S	66°16'47.47"O	26
14	17°24'7.13"S	66°16'52.15"O	28

FUENTE: Elaboración propia en base a información proporcionada por la entidad encargada

En la anterior tabla se detallan la latitud y la longitud de cada caja de distribución que existe dentro del límite del distrito I del municipio de Quillacollo, datos que son

## **MARCO PRÁCTICO**

---

de consideración para la elaboración del sistema de monitoreo debido a que se debe monitorear todas y cada una de las cajas de distribución que se encuentran dentro del distrito I, considerando que según la entrevista realizada al encargado de la dirección de alumbrado público del gobierno autónomo de Quillacollo son 14 cajas de distribución y 280 postes de luminarias en el distrito I de Quillacollo (anexo II).

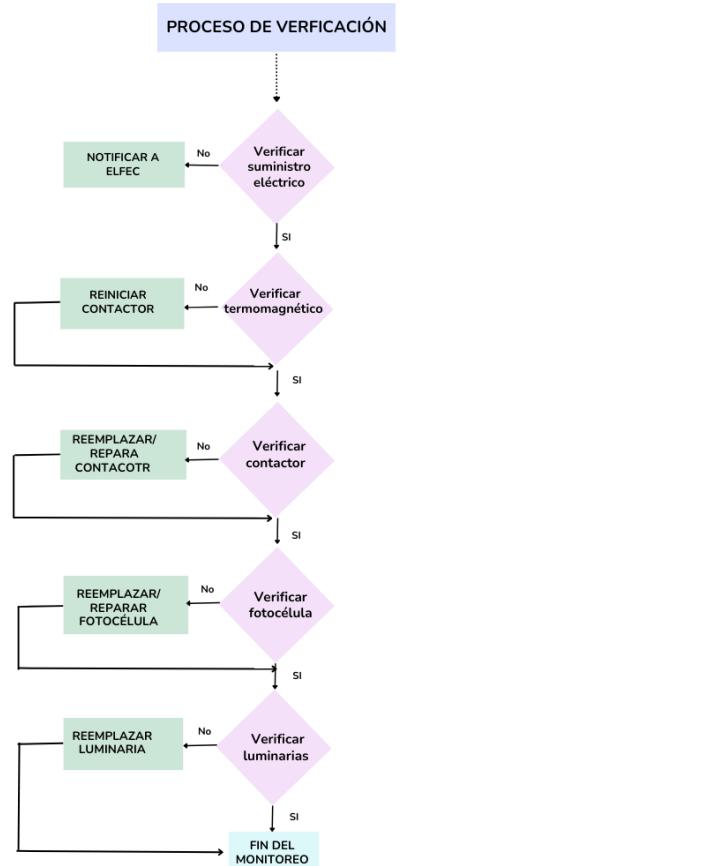
### **3.2. DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA DE RECOLECIÓN DE DATOS PARA EL SISTEMA DE MONITOREO.**

#### **3.2.1. Análisis del proceso de monitoreo y posibles fallas en las etapas de conexión en las cajas de alumbrado público**

El análisis del proceso de monitoreo es esencial para evaluar las posibles fallas que pueda ocurrir en los componentes de las cajas de distribución del alumbrado público, para asegurar el flujo de energía eléctrica de manera eficiente en las cajas de distribución.

## MARCO PRÁCTICO

**IMAGEN N°30: DIAGRAMA DE FLUJO DE MONITOREO DE LAS CAJAS DE DISTRIBUCIÓN**



FUENTE: Elaboración propia en base a información recolectada

En la anterior imagen se muestra el diagrama de flujo del proceso de revisión que, según entrevista al encargado en jefe de la dirección del alumbrado público de Quillacollo, se realiza al presentarse una falla, en la que se observan las etapas de

## MARCO PRÁCTICO

monitoreo de fallas en las cajas de distribución del alumbrado público, donde se evaluarán las posibles fallas.

- Inicio del monitoreo: el proceso de monitoreo empieza.
- Verificación de suministro eléctrico: comprueba si hay suministro eléctrico.
  - Si no hay suministro eléctrico: Se da aviso a la empresa encarga del suministro eléctrico, y además se procede a verificar el termomagnético.
  - Si hay suministro eléctrico: Se verifica el termomagnético
- Verificación de termomagnético: Se revisa el estado del interruptor termomagnético, pudiendo este encontrarse disparado por sobrecarga o cortocircuito.
  - Si el termomagnético está disparado: Se procede a realizar una revisión de las conexiones para encontrar la razón del disparo y reiniciar el termomagnético, y se procede a revisar el contactor.
  - Si el termomagnético está en buen estado: Se procede a revisar el contactor
- Verificación del contactor: Se procede a verificar el contactor, el cual podría dejar de funcionar debido a desgaste de los contactos, tener las bobinas defectuosas.
  - Si el contactor no funciona: Se revisan las conexiones o se reemplaza el contactor y se verifica la fotocélula.
  - Si el contactor funciona: revisar fotocélula.
- Verificar fotocélula: Se revisa el funcionamiento de la fotocélula, pudiendo esta presentar problemas con la suciedad en la superficie, o tener problemas de conexión o presentar algún desajuste en la sensibilidad.
  - Si la fotocélula no funciona: Si el problema es superficial se soluciona o se cambia la fotocélula y se procede a verificar la luminaria.
  - Si la fotocélula funciona: Se verifican las luminarias
- Verificar luminaria: Se revisan las luminarias que no estén en corte
  - Si las luminarias no funcionan: Se procede a cambiarlas.

## MARCO PRÁCTICO

- Si las luminarias funcionan: Fin de la revisión

### 3.2.2. Evaluación de sensores en función del proceso de monitoreo de las cajas de distribución del sistema de alumbrado público

Para la identificación de las variables de monitoreo se toma en cuenta los componentes eléctricos de la caja de distribución.

De acuerdo al relevamiento de los componentes de las cajas de distribución del alumbrado público del municipio de Quillacollo y su funcionamiento, se sabe que están compuestas por un medidor de corriente, un interruptor termomagnético, un contactor y una fotocélula, tomando en cuenta la naturaleza de estos componentes se analizarán sensores de monitoreo de corriente considerando las etapas del diagrama de flujo del procedimiento de revisión de las cajas de distribución que se analizó anteriormente en el punto 3.2.1. para poder seleccionar los sensores adecuados.

A continuación, se realizará un cálculo para determinar la capacidad de corriente que los sensores deberían soportar para cumplir la función de monitoreo de forma adecuada, considerando que el máximo de luminarias que tiene conectada una caja de distribución son 30 y el voltaje de la red eléctrica es 220 V, existiendo lámparas incandescentes y lámparas LED con una potencia de hasta 200 W.

Para el cálculo se utilizará la ecuación de potencia en la cual se despejará I

$$P = V * I$$

$$I = \frac{P}{V} = \frac{200 \text{ W}}{220 \text{ V}} = 0.9 \text{ A} \times 30 \text{ luminarias} = 27 \text{ A}$$

Realizando la ecuación se obtiene el dato de 0.9 A de corriente para una sola lámpara y multiplicando por el número máximo de lámparas conectadas a una caja de distribución da un resultado de 27 A, el cual sería el amperaje mínimo que el sensor de monitoreo de corriente sea capaz de soportar, teniendo en cuenta que

## MARCO PRÁCTICO

existen lámparas de menor potencia y no todas las cajas tienen conectadas 30 luminarias.

A continuación, se realizará una comparación de las características técnicas de los sensores de corriente estudiados en el marco teórico en el punto 2.4.1.1.

**CUADRO N°8: COMPARATIVA DE SENSORES DE CORRIENTE**

Especificación		Característica	
<b>Modelo</b>	ACS712ELCTR-30A-T	SCT-013	
<b>Voltaje de Trabajo</b>	5v	5 V	3-5 V
<b>Rango Máximo</b>	30 A	30 A	50 A
<b>Salida analógica</b>	100 mV/A		
<b>Resistencia interna</b>	1.2 mΩ		

FUENTE: Elaboración propia en base a hojas de datos

Después de realizar la comparación de las características técnicas de los diferentes sensores de corriente se determina que el sensor más adecuado para el monitoreo de corriente es el sensor SCT-013 debido a que además de cumplir con el requerimiento de soportar hasta 30 A, es un sensor no invasivo el cual se conecta a una sola línea de corriente y no interfiere con el sistema actual de las cajas de distribución.

### **3.2.3. Evaluación de microcontroladores para la comunicación del sistema de monitoreo**

El análisis de del microcontrolador es importante para poder satisfacer los requisitos de comunicación del sistema de monitoreo, cada dispositivo tiene características únicas lo cual hace adecuado para un determinado uso, a continuación, se detalla

## MARCO PRÁCTICO

un cuadro comparativo de comparación de tres dispositivos los cuales son los más utilizados en aplicaciones de IoT y domótica.

**CUADRO N°9: COMPARACIÓN DE CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE MICROCONTROLADORES**

CARACTERISTICA	ARDUINO UNO	ESP32 LORA HELTEC	STM32
Procesador	Atmega328P	Dual-core Xtensa lx6	ARN cortex-M3
Frecuencia	16 MHz	240 MHz	72 MHz
Memoria flash	32 KB	4MB	64 KB
SRAM	2 KB	520KB	20KB
EEPROM	1KB	NO CUENTA	2 KB
Conexión Wifi	No cuenta	Si cuenta	No cuenta
Conexión Bluetooth	No cuenta	Si cuenta	No cuenta
Conexión LoRa	No cuenta	Si cuenta	No cuenta
GPIO	14 pines digitales, 6 pines digitales	34 GPIO	80 GPIO
Alimentación	5V	5V	2-3.6 V depende del modelo
Sistema operativo	Ninguno	Ninguno	Ninguno
Puerto USB	1 tipo B	1 micro USB	1 USB 2.0
Pantalla integrada	No cuenta	Si cuenta	No cuenta
Dimensiones	68.6 mm x 53.4mm	51 mm x 25 mm	Varía según el modelo

FUENTE: Elaboración propia en base a recolección de datos

Dada la necesidad de comunicación del sistema de monitoreo se realizó una comparación de características técnicas de tres diferentes controladores microcontroladores en el cual se encuentra más adecuado para ser implementado en el sistema de monitoreo el dispositivo ESP-32 Lora Heltec debido a sus

## MARCO PRÁCTICO

características avanzadas y la capacidad de integración con aplicaciones de IOT las cuales son las siguientes, el procesador con el que cuenta es un procesador de doble núcleo en comparación con el Arduino Atmega 328p y el Cortex-M3 la frecuencia es más alta en comparación a los otros dos dispositivos lo que significa que tiene mayor velocidad de procesamiento, por otra parte el dispositivo LoRa ESP 32 LORA HELTEC dispone de memoria flash de 4 MB el cual es mucho mayor al de Arduino y el dispositivo STM32, la SRAM es más extensa que la de los otros dispositivos en el cuadro, lo cual facilita el manejo de datos temporales y variables en programas más complejos. Para la conectividad el ESP32 LORA HELTEC incluye módulos de wifi, bluetooth y LoRa lo cual es crucial para la implementación del sistema de monitoreo. En el caso de los pines aun que el STM32 cuenta con más pines que el dispositivo LoRa HELTEC, 32 pines se consideran suficientes para el sistema de monitoreo, por otra parte, el dispositivo LoRa también incluye una pantalla integrada, lo que facilita la visualización de datos y el estado del dispositivo sin necesidad de componente extra. Siendo esas las características, lo que la hacen ideal para la aplicación de sistema de monitoreo considerando que al elegir este dispositivo también se estaría eligiendo la tecnología LoRa para la comunicación de los datos de monitoreo de las cajas de distribución del alumbrado público en el municipio de Quillacollo

### 3.2.4. Diseño de la estructura del sistema de recolección de datos

#### 3.2.4.1. Esquema del circuito de recolección de datos

##### (a) Componentes principales

Los componentes principales del circuito de recolección de datos serán los siguientes

**CUADRO N°10:** COMPONENTES DEL CIRCUITO DE RECOLECCIÓN  
DE DATOS

Componente	Tipo	Función
------------	------	---------

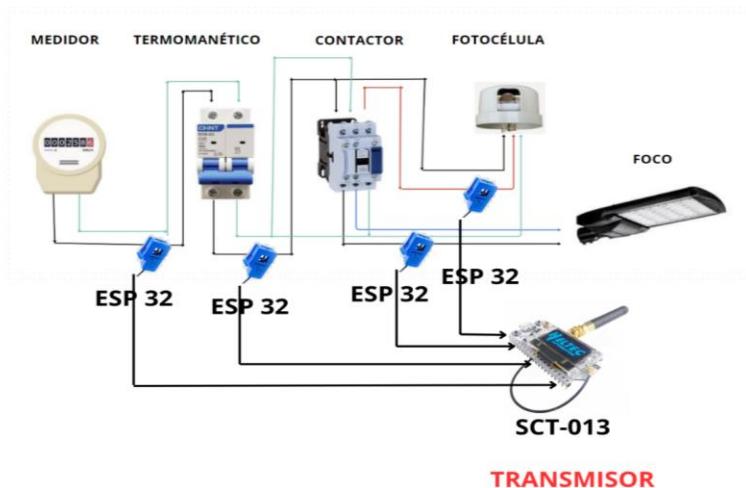
## MARCO PRÁCTICO

<b>Sensor</b>	Sensores de corriente	Monitorear el estado de los componentes de las luminarias
<b>Microcontrolador</b>	ESP32 LoRa Heltec	Procesar los datos recolectados por los sensores y transmitirlos
<b>Módulo de comunicación</b>	Modulo LoRa	Enviar los datos recolectados a un servidor.

FUENTE: Elaboración propia

**(b) Diagrama del circuito**

**IMAGEN N°31: DIAGRAMA DE CONEXIONES DEL CIRCUITO**



FUENTE: Elaboración propia

## MARCO PRÁCTICO

### 3.2.4.2. Sistema de alimentación del modulo

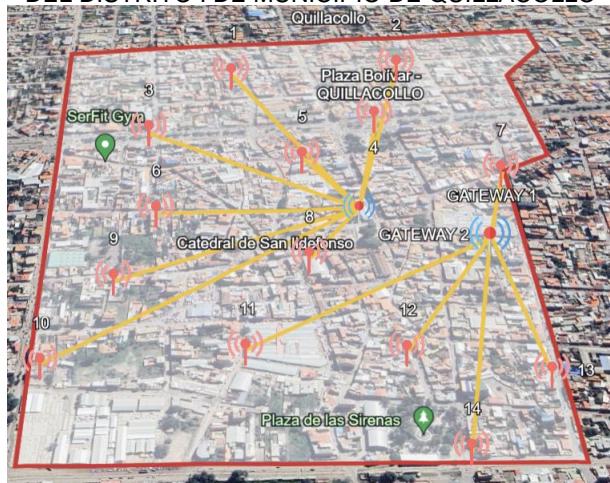
Debido a que cada caja de distribución cuenta con acceso a la red eléctrica de 220VAC, se considera el uso de transformadores de voltaje para el funcionamiento del prototipo con un valor de voltaje de entrada de 220VAC respectivamente y un voltaje de salida de 5VDC para la alimentación de los componentes del prototipo

### 3.3. Diseño del sistema de comunicación de la red de monitoreo

#### 3.3.1. Topología

La topología de red estrella para el proyecto es la más optima por la centralización y gestión de datos, donde todos los nodos están conectados a un nodo central, facilitando la supervisión y el mantenimiento del sistema. Además, esta topología facilita la escalabilidad del sistema. Además, la topología de estrella tiene un mejor manejo de fallas debido a que la falla en un nodo no afecta a los demás nodos de la red.

**IMAGEN N°32:** TOPOLOGÍA DE LA RED DE MONITOREO INALÁMBRICO DEL DISTRITO I DE MUNICIPIO DE QUILLACOLLO



FUENTE: Elaboración propia en base a Google Earth Pro

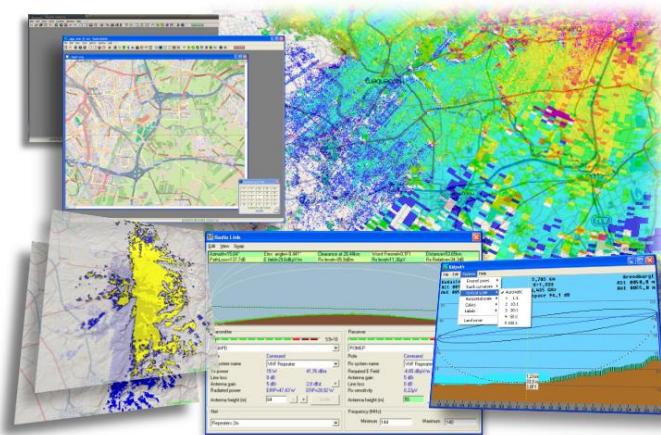
## MARCO PRÁCTICO

Como se observa en la imagen anterior la topología de red estrella del sistema de monitoreo inalámbrico de las cajas de distribución del alumbrado público del municipio de Quillacollo, el cual está constituido por 14 nodos distribuidos por el distrito según las ubicaciones de los postes donde se encuentran las cajas de distribución del alumbrado público y dos Gateway los cuales serán los encargados de centralizar los datos de estado de funcionamiento de las cajas de distribución, el Gateway 1 estará situado en las oficinas del concejo municipal de Quillacollo el cual se encuentra en las calles 14 de septiembre entre 6 de Agosto y Pacheco y el Gateway 2 estará situado en las oficinas externas del consejo municipal del Quillacollo situado en las calles Cochabamba entre la calles Héroes del chaco y Lanza

### 3.3.2. Cálculo y simulación de enlaces por radio frecuencia

Para realizar el diseño de radio enlaces de la red propuesta se hará uso del programa Radio Mobile el cual es un software gratuito utilizada para la planificación y simulación de enlaces por radio frecuencia, el cual utiliza datos de elevación del terreno y mapas para calcular la cobertura y la calidad de enlace de una red.

IMAGEN N°33: SOFTWARE RADIO MOBILE



## MARCO PRÁCTICO

FUENTE: [http://radiomobile.pe1mew.nl/#google\\_vignette](http://radiomobile.pe1mew.nl/#google_vignette)

El software Radio Mobile se utilizará para realizar la planificación precisa del diseño de red propuesto asegurando la garantía de cobertura entre los nodos y el Gateway de la red del sistema de monitoreo inalámbrico de las cajas de distribución del alumbrado público del distrito I del municipio de Quillacollo.

**CUADRO N°11:** UBICACIONES GEOGRÁFICAS Y DISTANCIAS DE LOS NODOS AL GATEWAY 1

N° NODO	LATITUD	LONGITUD	DISTANCIA
<b>GATEWAY 1</b>	17°23'51.65"S	66°16'47.34"O	No corresponde
7	17°23'45.35"S	66°16'45.03"O	0,20 km
11	17°24'0.99"S	66°17'0.71"O	0,32 km
12	17°24'0.56"S	66°16'53.48"O	0,33 km
13	17°24'2.32"S	66°16'47.47"O	0,33 km
14	17°24'7.13"S	66°16'52.15"O	0,50 km

FUENTE: Elaboración propia en base a información otorgada por la entidad encarga del alumbrado público

**CUADRO N°12:** UBICACIONES GEOGRÁFICAS Y DISTANCIAS DE LOS NODOS AL GATEWAY 2

N° NODO	LATITUD	LONGITUD	DISTANCIA
<b>GATEWAY 2</b>	17°23'48.56"S	66°16'53.72"O	No corresponde
1	17°23'31.01"S	66°16'59.65"O	0,57 km
2	17°23'30.00"S	66°16'48.17"O	0,60 km

### MARCO PRÁCTICO

<b>3</b>	17°23'38.81"S	66°17'4.78"O	0,44 km
<b>4</b>	17°23'38.20"S	66°16'51.12"O	0,33 km
<b>5</b>	17°23'44.03"S	66°16'57.39"O	0,18 km
<b>6</b>	17°23'48.16"S	66°17'4.74"O	0,32 km
<b>8</b>	17°23'53.09"S	66°16'56.98"O	0,17 km
<b>9</b>	17°23'54.29"S	66°17'6.78"O	0,42 km
<b>10</b>	17°24'2.19"S	66°17'9.73"O	0,63 km

FUENTE: Elaboración propia en base a información otorgada por la entidad encarga del alumbrado público

Para realizar los diferentes radios enlaces se cuenta con las 14 ubicaciones geográficas de los dispositivos en el cuadro anterior siendo las mismas ubicaciones de las cajas de distribución del sistema de alumbrado público , así mismo se obtuvo las distancias entre nodos y los dos Gateways propuestos, distancias que son óptimas para comunicación con la tecnología Lora la cual cuenta con una área de cobertura en zonas metropolitanas de... evidenciando que ninguna de las distancias excede de la distancia máxima de cobertura.

### CUADRO N°13: PARÁMETROS TÉCNICOS PARA LA SIMULACIÓN DE RADIO ENLACES

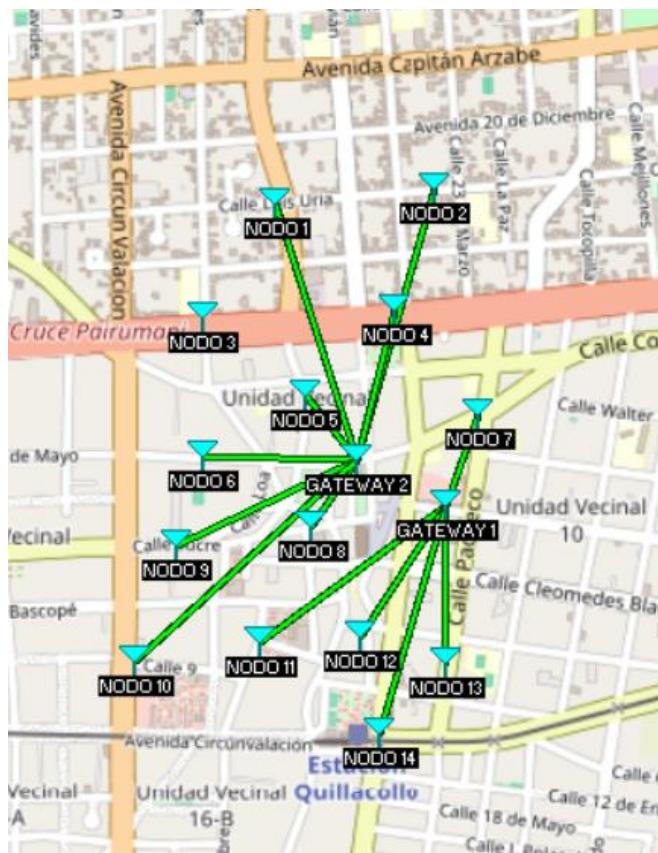
PARÁMETRO	CANTIDAD
<b>Frecuencia de operación</b>	928 MHz
<b>Potencia de transmisión</b>	20 dBm
<b>Ganancia de la antena</b>	3 dBi
<b>Sensibilidad de receptor</b>	-148 dBm

FUENTE: Elaboración propia en base a parámetros Lora

## MARCO PRÁCTICO

Para realizar la simulación se tomará datos de los parámetros de la antena LoRa HELTEC ESP32 los cuales se describen en el cuadro N 11 esta configuración permitirá evaluar la viabilidad y optimizar la implementación de la tecnología Lora en el sistema de monitoreo de las cajas de distribución del alumbrado público.

**IMAGEN N°34:** UBICACIONES DE LOS NODOS Y GATEWAY EN EL SOFTWARE RADIO MOBILE



FUENTE: Elaboración propia en base a coordenadas de nodos y Gateways

En la imagen N° es generada por Radio Mobile muestra una representación detallada de las coordenadas geográficas de cada nodo, ubicados en los postes de

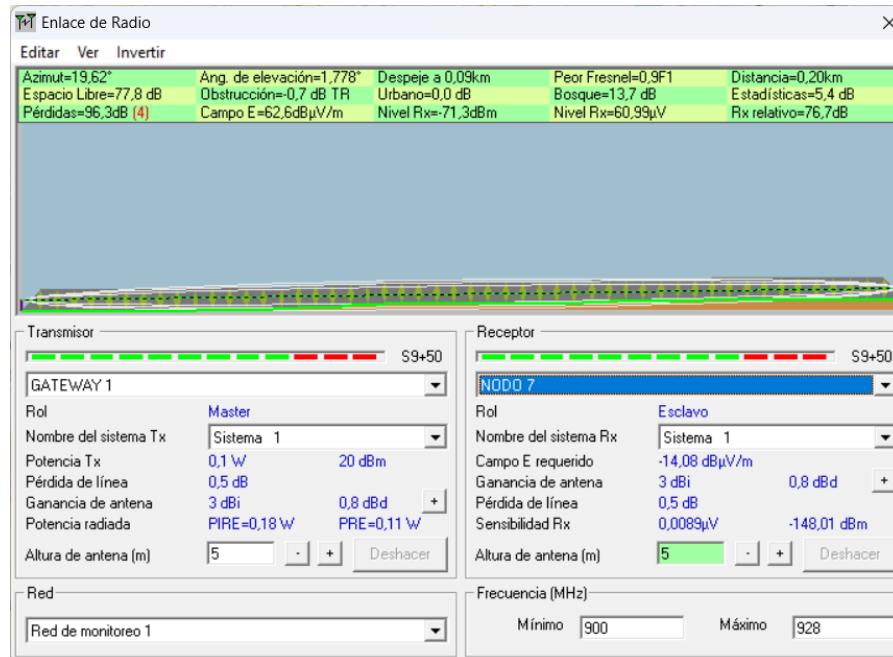
## MARCO PRÁCTICO

alumbrado público en conjunto con la ubicación de los gateways del sistema de monitoreo.

### 3.3.2.1. Enlaces de nodos al Gateway 1

- Enlace nodo 7 al Gateway 1

IMAGEN N°35: ENLACE NODO 7 CON EL GATEWAY 1

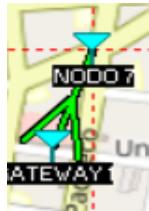


FUENTE: Elaboración propia en base a software Radio Mobile

En la imagen anterior se observa el enlace entre el Gateway 1 y el nodo 7, situados a 0.20 km con una perdida en el espacio libre de 77.8 dB. El nivel de potencia de la señal S9 se puede evidenciar que la calidad de señal recibida es de excelente calidad, y la recepción y transmisión de datos se aseguran en el enlace.

## MARCO PRÁCTICO

IMAGEN N°36: MAPA DEL ENLACE 7 CON EL GATEWAY 1

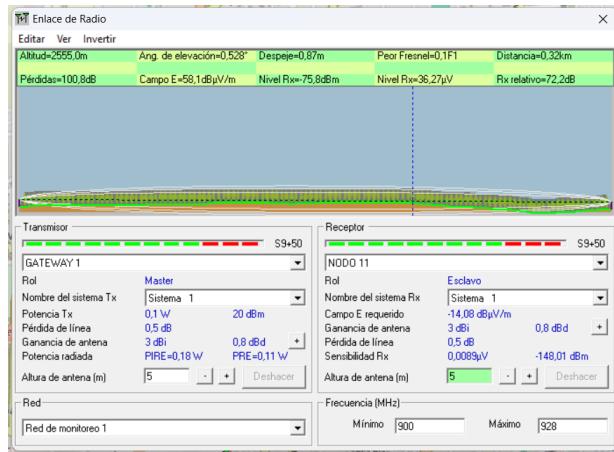


FUENTE: Elaboración propia en base a software Radio Mobile

En la imagen anterior se puede observar las antenas del Gateway 1 y nodo 7 en el mapa, observando una línea verde entre ella lo que significa buena calidad de enlace.

- Enlace nodo 11 al Gateway 1

IMAGEN N°37: ENLACE NODO 11 CON EL GATEWAY



FUENTE: Elaboración propia en base a software Radio Mobile

En la imagen anterior se observa el enlace entre el Gateway 1 y el nodo 11, los cuales se encuentran a 0.32 km, con una perdida en el espacio libre de 85.4 dB. Con el nivel de potencia de la señal S9+50, se evidencia que la calidad de señal

## MARCO PRÁCTICO

recibida es excelente, donde la recepción y transmisión de datos en el enlace está asegurada.

**IMAGEN N°38:** MAPA DEL ENLACE NODO 11 AL GATEWAY 1

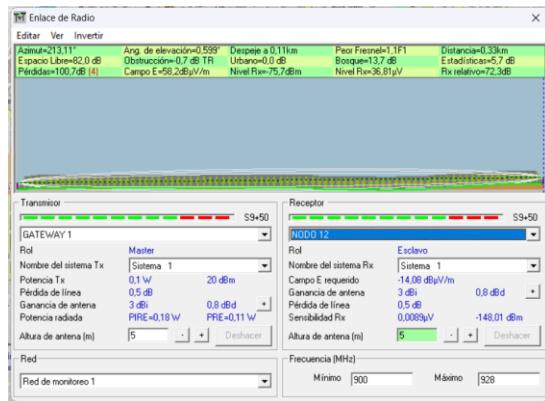


FUENTE: Elaboración propia en base a software Radio Mobile

En la imagen anterior se puede observar las opciones de las antenas del Gateway 1 y nodo 7 observando una línea verde entre ella los que significa buena calidad de enlace.

- Enlace nodo 12 al Gateway 1

**IMAGEN N°39:** ENLACE NODO 12 CON EL GATEWAY 1



FUENTE: Elaboración propia en base a software Radio Mobile

En la imagen anterior se observa el enlace entre el Gateway 1 y el nodo 12, situados a una distancia de 0.33 km con una perdida en el espacio libre de 82.0 dB. Con nivel

## MARCO PRÁCTICO

de potencia de la señal S9+50 se evidencia que la calidad de señal recibida es excelente.

**IMAGEN N°40: MAPA DEL ENLACE NODO 12 A GATEWAY 1**

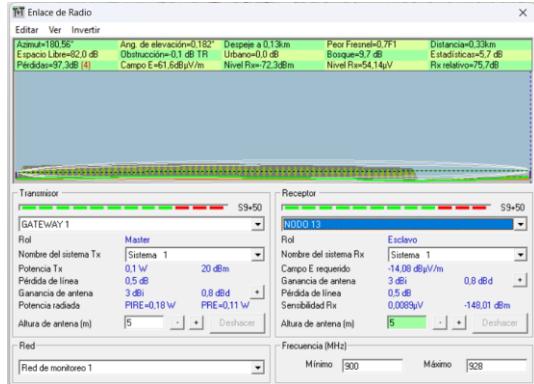


FUENTE: Elaboración propia en base a software Radio Mobile

En la imagen se puede observar el mapa donde se muestra el enlace entre el nodo 12 y el Gateway 1 donde también el enlace es excelente evidenciado por la línea verde que se encuentra en medio.

- Enlace nodo 13 al Gateway 1

**IMAGEN N°41: ENLACE NODO 13 CON EL GATEWAY 1**

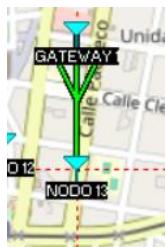


FUENTE: Elaboración propia en base a software Radio Mobile

## MARCO PRÁCTICO

En la imagen anterior están el enlace del nodo 13 y el Gateway 1, donde el enlace se representa por una línea entre puntos considerando que no existe obstrucción de la señal, siendo 0.33 la distancia entre antenas, óptima para la comunicación de datos, además de que la perdida por el espacio libre es de 82 dB y el valor del PIRE 0.8 w.

**IMAGEN N°42:** MAPA DEL ENLACE 13 CON EL GATEWAY 1



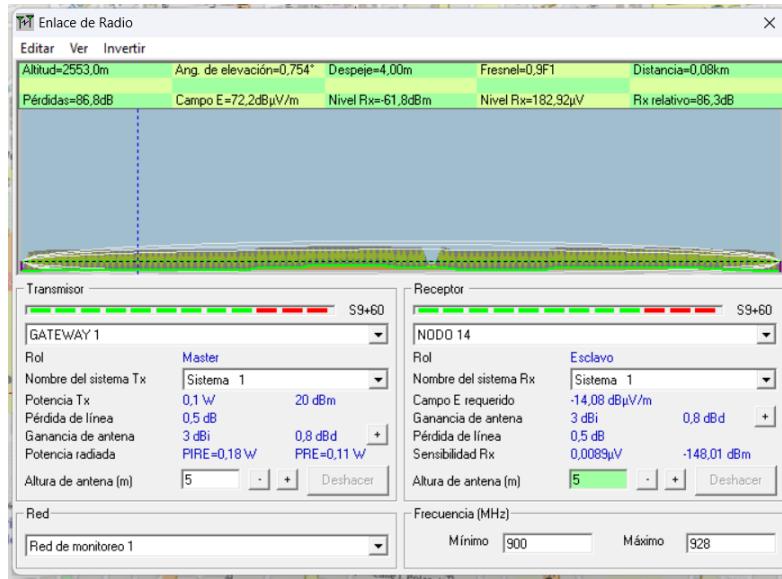
FUENTE: Elaboración propia en base a software Radio Mobile

Así mismo en la imagen anterior se puede observar el enlace del nodo 14 al Gateway 1 desde la vista del plano de las ubicaciones en el cual también se muestra una calidad de señal optima representado con la línea verde que une los dos nodos.

- Enlace nodo 14 al Gateway 1

**IMAGEN N°43:** ENLACE NODO 14 CON EL GATEWAY 1

## MARCO PRÁCTICO

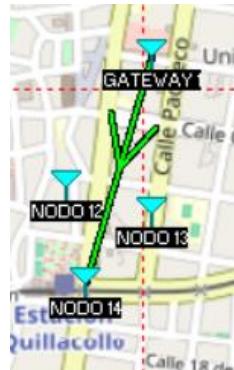


FUENTE: Elaboración propia en base a software Radio Mobile

La imagen N° se observa el enlace del nodo 14 al Gateway 1 los cuales están separados por un a distancia de 0.5 km, así mismo se observa parámetros como s9+60 siendo un indicador de buena calidad de señal tanto como para receptor como para transmisor, así mismo se observan parámetros de perdida de señal como la perdida por el espacio libre siendo esta 85.6 y una potencia radiada de 0.18 W.

**IMAGEN N°44: MAPA DEL ENLACE 14 CON EL GATEWAY 1**

## MARCO PRÁCTICO



FUENTE: Elaboración propia en base a software Radio Mobile

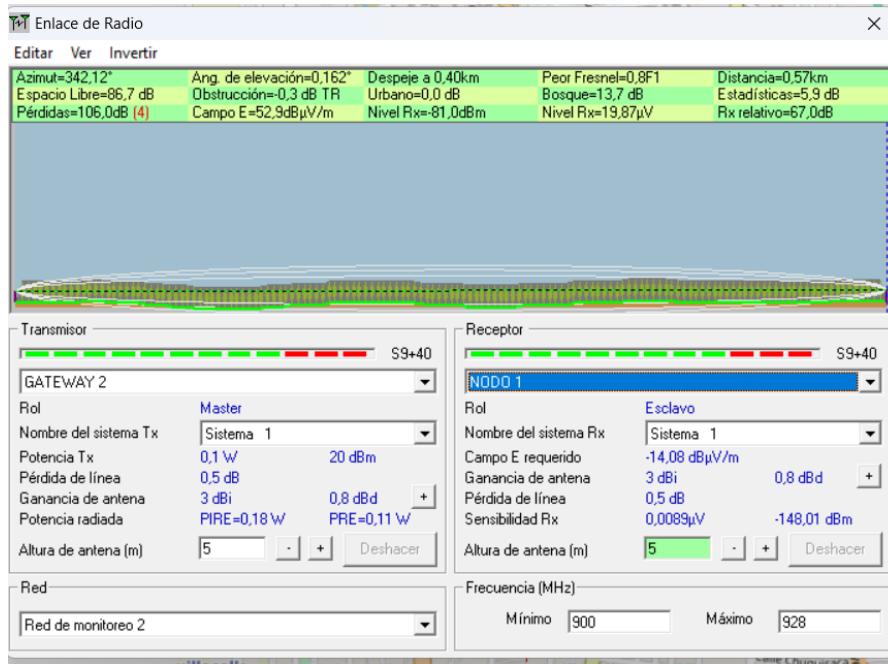
La imagen N° hace representación a el enlace del nodo 14 con el Gateway 1 vista situados en el mapa que el software proporciona y al igual que todos los anteriores enlaces de radio frecuencia este también presenta una buena calidad de enlace.

### 3.3.2.2. Enlaces de nodos al Gateway 2

- Enlace nodo 1 al Gateway 2

**IMAGEN N°45:** ENLACE NODO 1 CON EL GATEWAY 2

## MARCO PRÁCTICO



FUENTE: Elaboración propia en base a software Radio Mobile

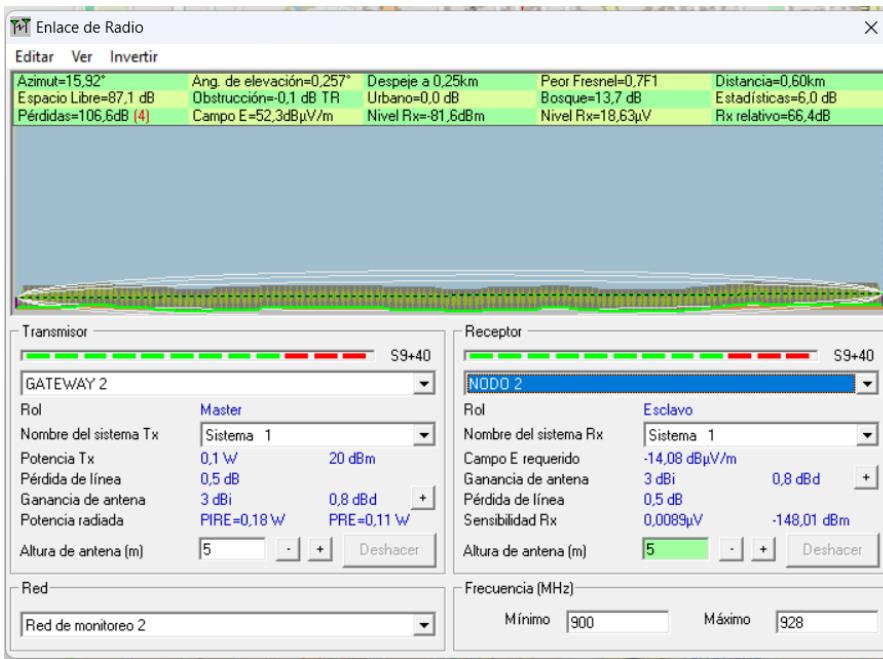
IMAGEN N°46: MAPA DEL ENLACE NODO 1 CON EL GATEWAY 2



- Enlace nodo 2 al Gateway 2

## MARCO PRÁCTICO

IMAGEN N°47: ENLACE NODO 2 CON EL GATEWAY 2



FUENTE: Elaboración propia en base a software Radio Mobile

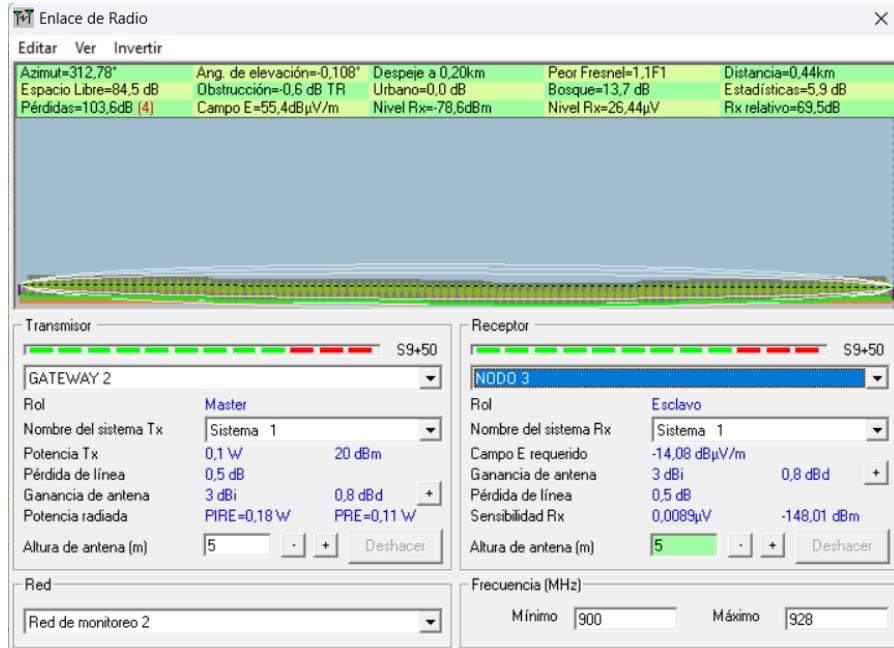
IMAGEN N°48: MAPA DEL ENLACE NODO 2 CON EL GATEWAY 2



➤ Enlace nodo 3 al Gateway 2

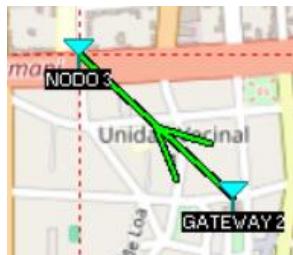
## MARCO PRÁCTICO

**IMAGEN N°49:** ENLACE NODO 3 CON EL GATEWAY 2



FUENTE: Elaboración propia en base a software Radio Mobile

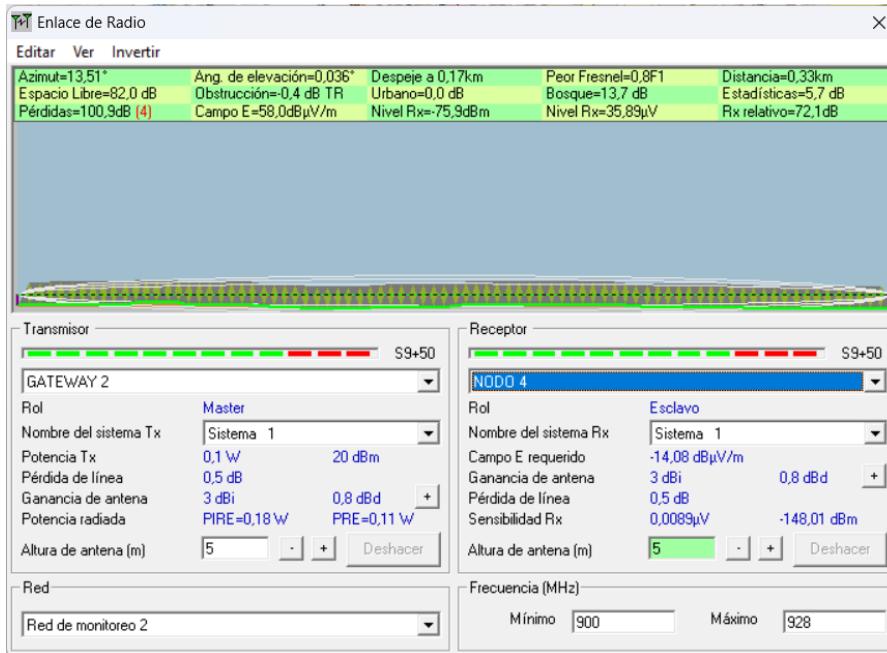
**IMAGEN N°50:** MAPA DEL ENLACE NODO 3 CON EL GATEWAY 2



➤ Enlace nodo 4 al Gateway 2

**IMAGEN N°51:** ENLACE NODO 4 CON EL GATEWAY 2

## MARCO PRÁCTICO



FUENTE: Elaboración propia en base a software Radio Mobile

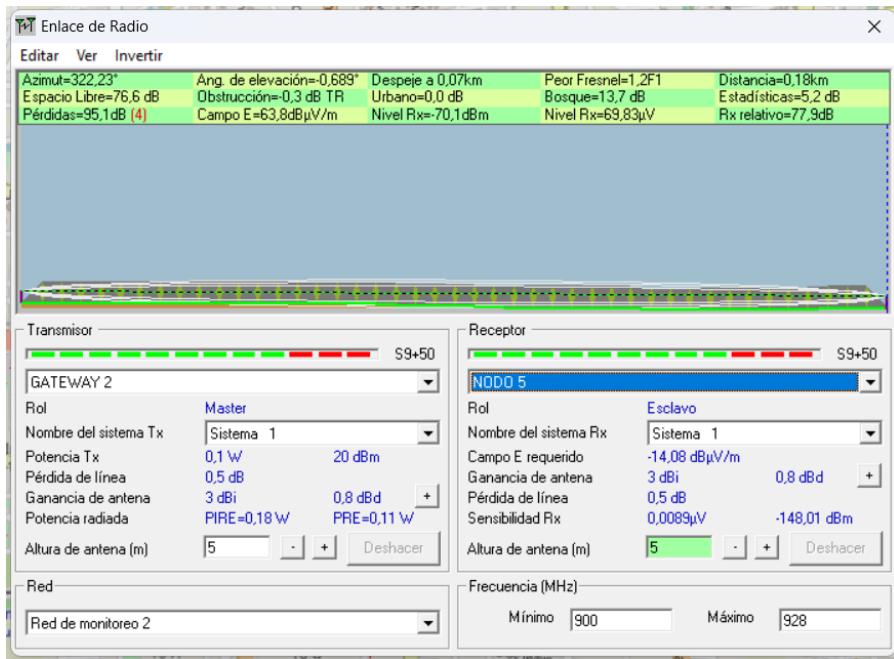
**IMAGEN N°52:** MAPA DEL ENLACE NODO 4 CON EL GATEWAY 2



- Enlace nodo 5 al Gateway 2

## MARCO PRÁCTICO

IMAGEN N°53: ENLACE NODO 5 CON EL GATEWAY 2



FUENTE: Elaboración propia en base a software Radio Mobile

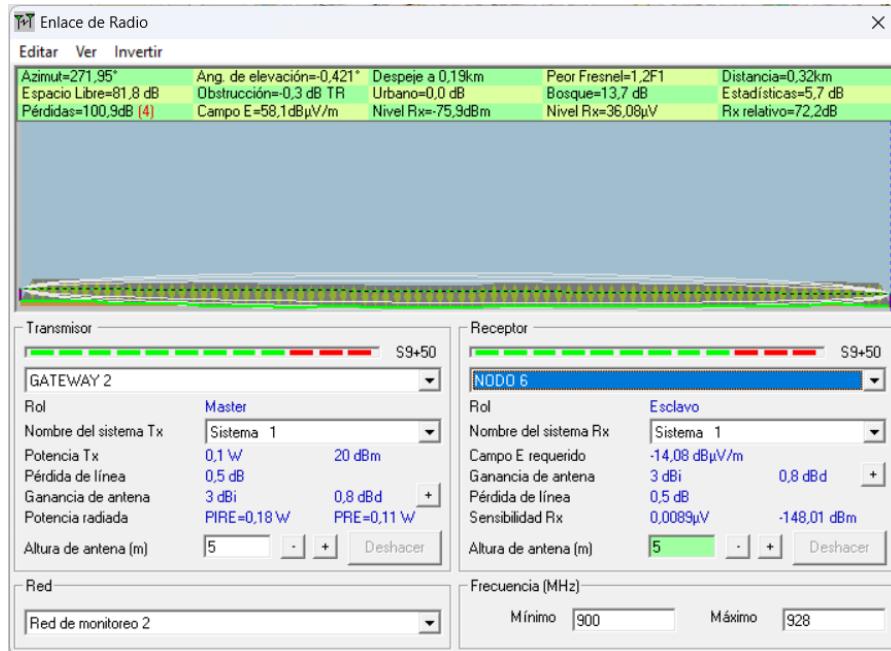
IMAGEN N°54: MAPA DEL ENLACE NODO 5 CON EL GATEWAY 2



- Enlace nodo 6 al Gateway 2

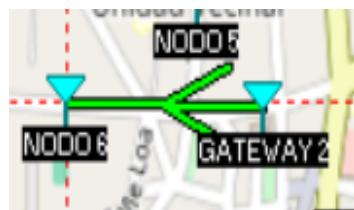
IMAGEN N°55: ENLACE NODO 5 CON EL GATEWAY 2

## MARCO PRÁCTICO



FUENTE: Elaboración propia en base a software Radio Mobile

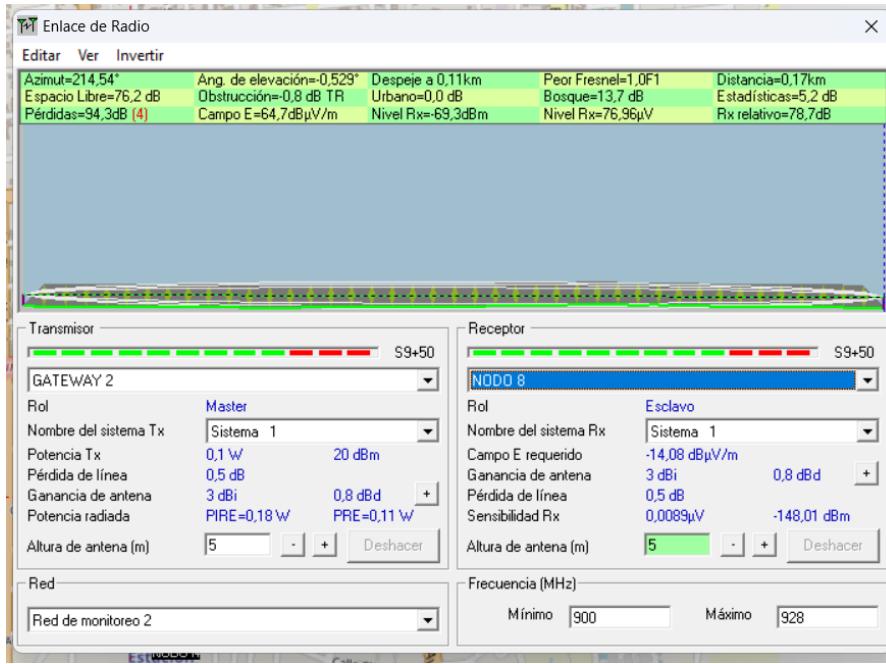
**IMAGEN N°56:** MAPA DEL ENLACE NODO 6 CON EL GATEWAY 2



- Enlace nodo 8 al Gateway 2

**IMAGEN N°57:** ENLACE NODO 8 CON EL GATEWAY 2

## MARCO PRÁCTICO



FUENTE: Elaboración propia en base a software Radio Mobile

**IMAGEN N°58:** MAPA DEL ENLACE NODO 8 CON EL GATEWAY 2

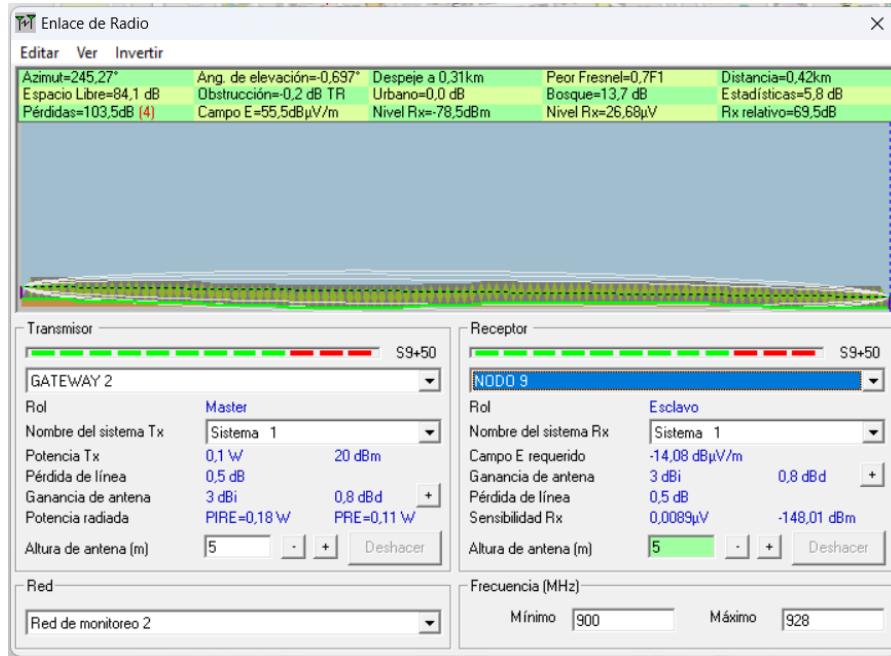


FUENTE: Elaboración propia en base a software Radio Mobile

- Enlace nodo 9 al Gateway 2

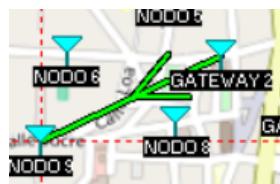
## MARCO PRÁCTICO

**IMAGEN N°59: ENLACE NODO 9 CON EL GATEWAY 2**



FUENTE: Elaboración propia en base a software Radio Mobile

**IMAGEN N°60: MAPA DEL ENLACE NODO 9 CON EL GATEWAY 2**



FUENTE: Elaboración propia en base a software Radio Mobile

- Enlace nodo 10 al Gateway 2

**IMAGEN N°61: ENLACE NODO 10 CON EL GATEWAY 2**

## MARCO PRÁCTICO

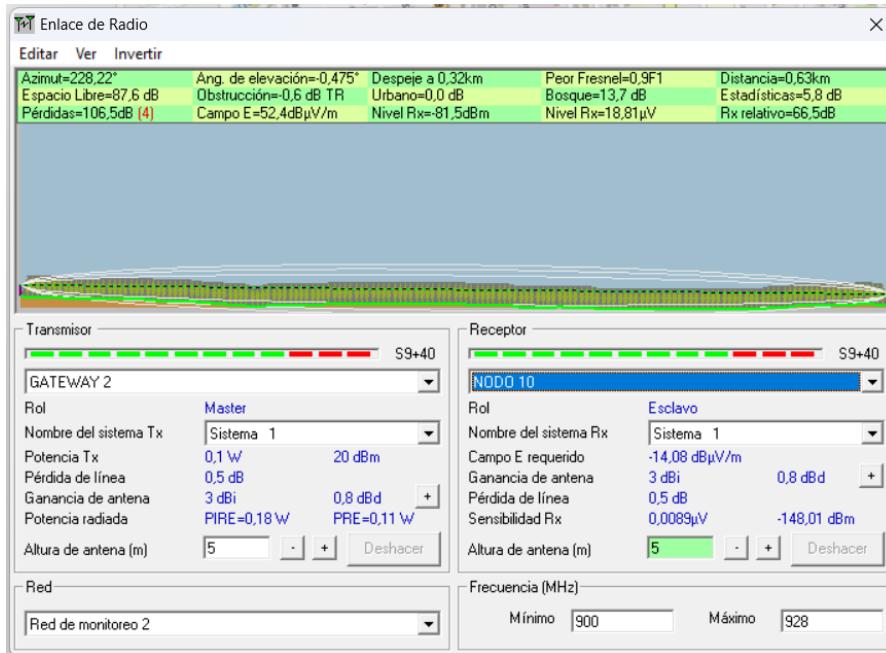


IMAGEN N°62: MAPA DEL ENLACE NODO 10 CON EL GATEWAY 2



FUENTE: Elaboración propia en base a software Radio Mobile

## MARCO PRÁCTICO

### 3.3.3. Parámetros de análisis en la señal

#### 3.3.3.1. Radio de Fresnel

Para analizar y diseñar el sistema de monitoreo del alumbrado público con la tecnología Lora, no es necesario calcular el radio de Fresnel, ya que la tecnología Lora puede operar eficientemente en entornos con obstáculos, ya que opera en una frecuencia baja de 915 MHz, permitiendo una propagación de señal optima en áreas urbanas con obstáculos.

#### 3.3.3.2. Perdida por espacio libre

El cálculo de la pérdida por espacio libre (FSPL) es esencial para el proyecto de monitoreo del sistema de alumbrado público utilizando tecnología LoRa, ya que proporciona una base para evaluar la propagación de la señal en condiciones ideales. Al comprender la FSPL, podemos establecer un punto de referencia sobre cómo se comportará la señal en un entorno sin obstáculos, lo que es crucial para identificar y mitigar las posibles pérdidas adicionales causadas por edificios, árboles y otras estructuras urbanas.

Con la siguiente fórmula se obtendrá el dato de la perdida en el espacio que existe entre estos dos nodos

$$LFS = (20 \log(d[km])) + (20 \log(f[MHz])) + 32.45$$

Donde:

Lfs = perdida por la trayectoria en el espacio libre

F= frecuencia (MHz)

D = distancia (km)

➤ **Perdida por espacio libre del nodo 7 al Gateway 1**

## **MARCO PRÁCTICO**

### DATOS

Lfs = ?

F= frecuencia (MHz)

D = distancia (km)

$$LFS = (20 \log(d[km])) + (20 \log(f[MHz])) + 32.45$$

$$LFS = (20 \log(0.20[km])) + (20 \log(915[MHz])) + 32.45$$

$$LFS = 77.69 \text{ db}$$

#### **➤ Perdida por espacio libre del nodo 11 al Gateway 1**

### DATOS

Lfs = perdida por la trayectoria en el espacio libre

F= frecuencia (MHz)

D = distancia (km)

$$LFS = (20 \log(d[km])) + (20 \log(f[MHz])) + 32.45$$

$$LFS = (20 \log(0.32[km])) + (20 \log(915[MHz])) + 32.45$$

$$LFS = 81.78$$

#### **➤ Perdida por espacio libre del nodo 12 al Gateway 1**

### DATOS

Lfs = perdida por la trayectoria en el espacio libre

F= frecuencia (MHz)

D = distancia (km)

## MARCO PRÁCTICO

$$LFS = (20 \log(d[km])) + (20 \log(f[MHz])) + 32.45$$

$$LFS = (20 \log(0.33[km])) + (20 \log(915[MHz])) + 32.45$$

$$LFS = 82.04 \text{ db}$$

### ➤ Perdida por espacio libre del nodo 13 al Gateway 1

DATOS

Lfs = perdida por la trayectoria en el espacio libre

F= frecuencia (MHz)

D = distancia (km)

$$LFS = (20 \log(d[km])) + (20 \log(f[MHz])) + 32.45$$

$$LFS = (20 \log(0.33[km])) + (20 \log(915[MHz])) + 32.45$$

$$LFS = 82.04 \text{ db}$$

### ➤ Perdida por espacio libre del nodo 14 al Gateway 1

DATOS

Lfs = perdida por la trayectoria en el espacio libre

F= frecuencia (MHz)

D = distancia (km)

$$LFS = (20 \log(d[km])) + (20 \log(f[MHz])) + 32.45$$

$$LFS = (20 \log(0.50[km])) + (20 \log(915[MHz])) + 32.45$$

$$LFS = 85.65 \text{ db}$$

## **MARCO PRÁCTICO**

### **➤ Perdida por espacio libre del nodo 1 al Gateway 2**

#### DATOS

Lfs = perdida por la trayectoria en el espacio libre

F= frecuencia (MHz)

D = distancia (km)

$$LFS = (20 \log(d[km])) + (20 \log(f[MHz])) + 32.45$$

$$LFS = (20 \log(0.57[km])) + (20 \log(915[MHz])) + 32.45$$

$$LFS = 86.79 \text{ db}$$

### **➤ Perdida por espacio libre del nodo 2 al Gateway 2**

#### DATOS

Lfs = perdida por la trayectoria en el espacio libre

F= frecuencia (MHz)

D = distancia (km)

$$LFS = (20 \log(d[km])) + (20 \log(f[MHz])) + 32.45$$

$$LFS = (20 \log(0.60[km])) + (20 \log(915[MHz])) + 32.45$$

$$LFS = 87.24 \text{ db}$$

### **➤ Perdida por espacio libre del nodo 3 al Gateway 2**

#### DATOS

Lfs = perdida por la trayectoria en el espacio libre

F= frecuencia (MHz)

D = distancia (km)

$$LFS = (20 \log(d[km])) + (20 \log(f[MHz])) + 32.45$$

$$LFS = (20 \log(0.44[km])) + (20 \log(915[MHz])) + 32.45$$

$$LFS = 84.54$$

### **➤ Perdida por espacio libre del nodo 4 al Gateway 2**

#### DATOS

## **MARCO PRÁCTICO**

Lfs = perdida por la trayectoria en el espacio libre

F= frecuencia (MHz)

D = distancia (km)

$$LFS = (20 \log(d[km])) + (20 \log(f[MHz])) + 32.45$$

$$LFS = (20 \log(0.33[km])) + (20 \log(915[MHz])) + 32.45$$

$$LFS = 82.04$$

### **➤ Perdida por espacio libre del nodo 5 al Gateway 2**

DATOS

Lfs = perdida por la trayectoria en el espacio libre

F= frecuencia (MHz)

D = distancia (km)

$$LFS = (20 \log(d[km])) + (20 \log(f[MHz])) + 32.45$$

$$LFS = (20 \log(0.18[km])) + (20 \log(915[MHz])) + 32.45$$

$$LFS = 76.78db$$

### **➤ Perdida por espacio libre del nodo 6 al Gateway 2**

DATOS

Lfs = perdida por la trayectoria en el espacio libre

F= frecuencia (MHz)

D = distancia (km)

$$LFS = (20 \log(d[km])) + (20 \log(f[MHz])) + 32.45$$

$$LFS = (20 \log(0.32[km])) + (20 \log(915[MHz])) + 32.45$$

$$LFS = 81.78db$$

### **➤ Perdida por espacio libre del nodo 8 al Gateway 2**

DATOS

Lfs = perdida por la trayectoria en el espacio libre

## **MARCO PRÁCTICO**

F= frecuencia (MHz)

D = distancia (km)

$$LFS = (20 \log(d[km])) + (20 \log(f[MHz])) + 32.45$$

$$LFS = (20 \log(0.17[km])) + (20 \log(915[MHz])) + 32.45$$

$$LFS = 76.28 \text{ db}$$

### **➤ Perdida por espacio libre del nodo 9 al Gateway 2**

DATOS

Lfs = perdida por la trayectoria en el espacio libre

F= frecuencia (MHz)

D = distancia (km)

$$LFS = (20 \log(d[km])) + (20 \log(f[MHz])) + 32.45$$

$$LFS = (20 \log(0.42[km])) + (20 \log(915[MHz])) + 32.45$$

$$LFS = 84.14 \text{ db}$$

### **➤ Perdida por espacio libre del nodo 10 al Gateway 2**

DATOS

Lfs = perdida por la trayectoria en el espacio libre

F= frecuencia (MHz)

D = distancia (km)

$$LFS = (20 \log(d[km])) + (20 \log(f[MHz])) + 32.45$$

$$LFS = (20 \log(0.63[km])) + (20 \log(915[MHz])) + 32.45$$

$$LFS = 87.66 \text{ db}$$

## MARCO PRÁCTICO

### 3.3.3.3. Potencia isotrópica radiada efectiva

El cálculo de la Potencia Isotrópica Radiada Efectiva (PIRE) es fundamental para el proyecto de monitoreo del sistema de alumbrado público con tecnología LoRa, debido a que determina la potencia efectiva que se irradia en la dirección de máxima ganancia de la antena. La PIRE combina la potencia de transmisión y la ganancia de la antena, proporcionando una medida clara de la capacidad del sistema para transmitir señales a largas distancias. Este cálculo es crucial para garantizar que la señal tenga suficiente fuerza para alcanzar todos los nodos de monitoreo y el Gateway, incluso en entornos urbanos complejos.

La PIRE se calcula utilizando la siguiente fórmula:

$$PIRE = (Ptx) + (-Ptx) + (Gtx) = dB$$

Donde:

Ptx: Potencia de transmisión en dBm.

Gtx: Ganancia de la antena transmisora en dBi.

-Ptx: Perdida del tx (cables y conectores)

#### ➤ Cálculo del PIRE de los radioenlaces

Datos:

Ptx: 20 dBm

Gtx: 3 dBi

-Ptx: 0.5 dB

$$PIRE = (Ptx) + (-Ptx) + (Gtx) = dB$$

$$PIRE = (20) + (-0.5) + (3 ) = 22.5 dB$$

## MARCO PRÁCTICO

Considerando que todos los enlaces de radio frecuencia cuentan con las mismas características técnicas para el cálculo del PIRE, en todo el resultado es igual a 22.5 dB.

### 3.3.4. Comparación de cálculos obtenidos teóricamente y parámetros obtenidos en cada radio enlace

En esta sección, se realiza un análisis comparativo entre los cálculos teóricos obtenidos y los parámetros obtenidos en cada radioenlace.

**CUADRO N°14: COMPARACIÓN DE PARÁMETROS DE ENLACES A GATEWAY 1**

Radio enlace	LFS	PIRE		
Enlace nodo 7 a Gateway 1	77.8 dB	77.69	22.5 dB	22.5 dB
Enlace nodo 11 a Gateway 1	85.4	81.78	22.5 dB	22.5 dB
Enlace nodo 12 a Gateway 1	82.0	82.04	22.5 dB	22.5 dB
Enlace nodo 13 a Gateway 1	82.0	82.04	22.5 dB	22.5 dB
Enlace nodo 14 a Gateway 1	85.6	86.65	22.5 dB	22.5 dB

FUENTE: ELABORACION PROPIA

**CUADRO N°15: COMPARACIÓN DE PARÁMETROS DE ENLACES A GATEWAY 2**

Radio enlace	LFS manual	LFS radio enlace	PIRE manual	PIRE radio enlace
Enlace nodo 1 a Gateway 2	86.7 dB	86.79 dB	22.5 dB	22.5 dB
Enlace nodo 2 a Gateway 2	87.1 dB	87.24 dB	22.5 dB	22.5 dB

## MARCO PRÁCTICO

<b>Enlace nodo 3 a Gateway 2</b>	84.5 dB	84.54 dB	22.5 dB	22.5 dB
<b>Enlace nodo 4 a Gateway 2</b>	82.0 dB	82.04 dB	22.5 dB	22.5 dB
<b>Enlace nodo 5 a Gateway 2</b>	76.6 dB	76.78 dB	22.5 dB	22.5 dB
<b>Enlace nodo 6 a Gateway 2</b>	81.8 dB	81.78 dB	22.5 dB	22.5 dB
<b>Enlace nodo 8 a Gateway 2</b>	76.2 dB	76.28 dB	22.5 dB	22.5 dB
<b>Enlace nodo 9 a Gateway 2</b>	84.1 dB	84.14 dB	22.5 dB	22.5 dB
<b>Enlace nodo 12 a Gateway 2</b>	87.6 dB	87.66 dB	22.5 dB	22.5 dB

FUENTE: ELABORACION PROPIA

Como se puede observar en los cuadros anteriores los resultados obtenidos teóricamente y los resultados obtenidos en el radioenlace muestran variaciones mínimas, en décimas, lo que significa que el diseño de radioenlaces y el diseño teórico son altamente precisas en cuanto a la representación de factores como la distancia, la atenuación, y la configuración de los parámetros de las antenas. Además, el diseño presenta una alta PIRE y constante lo cual significa que el sistema de radio enlace está bien diseñado y garantiza una señal fuerte haciendo el diseño de comunicación del sistema una opción viable y fiable para la transmisión de datos.

### 3.3.5. Configuración de la plataforma de recepción datos y comunicación de alertas

De acuerdo con las plataformas estudiadas en el punto anterior del marco teórico, Ubidots se considera ideal para el sistema de monitoreo de las cajas de distribución del alumbrado público en el municipio de Quillacollo por varias razones. La plataforma es fácil de usar y ofrece herramientas prácticas para la visualización de

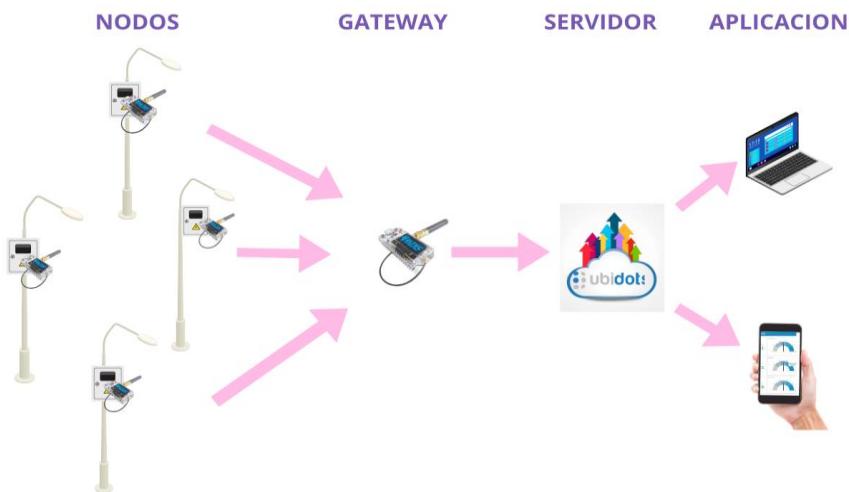
## MARCO PRÁCTICO

datos, lo que facilita la gestión del sistema. Además, Ubidots se integra perfectamente con dispositivos LoRaWAN y es capaz de añadir nuevos nodos y manejar mayor cantidad de datos proporcionando escalabilidad. La seguridad de los datos está garantizada, y la plataforma es muy confiable, asegurando que el sistema funcione sin interrupciones. También cuenta con un excelente soporte técnico y una comunidad activa que brinda recursos útiles. Por último, Ubidots tiene precios competitivos y es flexible, adaptándose bien a los requisitos específicos del proyecto, lo que asegura una implementación exitosa y sostenible.

### ➤ Integración del sistema propuesto

Comentado [jar1]: No sé si está bien EL SUBTITULO

IMAGEN N°63: DIAGRAMA DEL SISTEMA DE MONITOREO DE ALUMBRADO PÚBLICO



FUENTE: ELABORACION PROPIA

El diagrama muestra el sistema de monitoreo de alumbrado público utilizando tecnología LoRa y la plataforma Ubidots. Aquí se describen las diferentes etapas del sistema:

## **MARCO PRÁCTICO**

---

- **NODOS**

En esta etapa, los postes de luminaria en los se encuentran las cajas de distribución se encontrará el dispositivo de recolección de datos con el módulo ESP32 LoRa Heltec, el cual será un nodo de monitoreo. Los nodos recopilarán los datos de estado de corriente y serán procesados por el módulo ESP32 LoRa Heltec y transmitirán los datos recopilados utilizando la tecnología LoRa al Gateway

- **GATEWAY**

El Gateway es otro módulo Heltec ESP32 LoRa, pero en esta configuración, se encargará de recibir los datos enviados por los nodos que se encuentran en diferentes ubicaciones. Se encargará de agrupar la información recibida por los nodos y a través de una conexión de Wifi enviará los datos a la plataforma de Ubidots para su procesamiento.

- **SERVIDOR (Ubidots)**

Ubidots es la plataforma en la nube que se utilizara para gestionar y analizar los datos recibidos del Gateway. A través de sus herramientas se podrá visualizar los datos en gráficos y cuadros, en caso de fallas de funcionamiento realizará alertas.

- **APLICACIÓN**

Finalmente, los datos procesados y analizados están disponibles para el usuario final a través de la aplicación web a la cual se puede acceder desde cualquier computadora con acceso a internet.

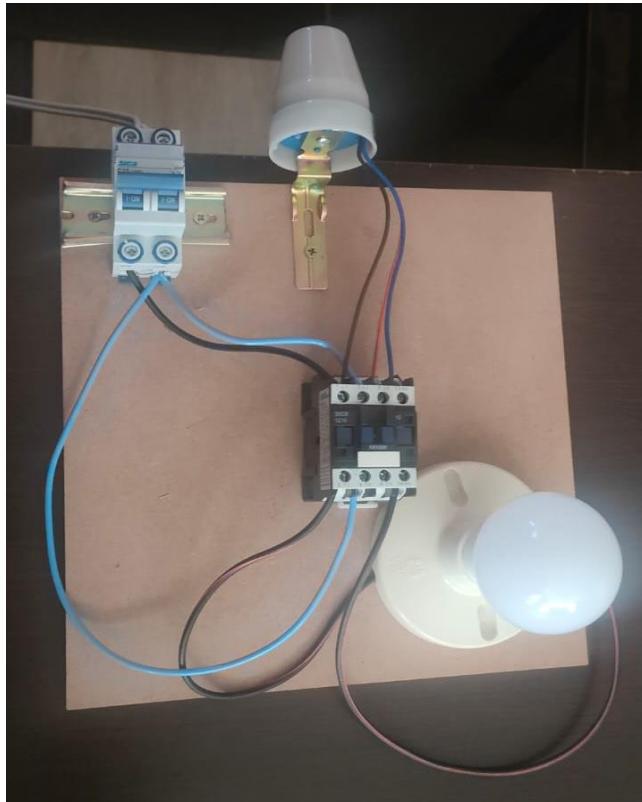
### **3.4. ENSAMBLAJE DEL PROTOTIPO Y PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO**

#### **3.4.1. Adecuación del entorno de prueba**

Para realizar el ensamblaje y del prototipo se realizó una réplica del circuito de las cajas de funcionamiento queriendo ser lo más realistas para el entorno de prueba.

## MARCO PRÁCTICO

IMAGEN N°64: REPLICA DE LA CAJA DE DISTRIBUCION



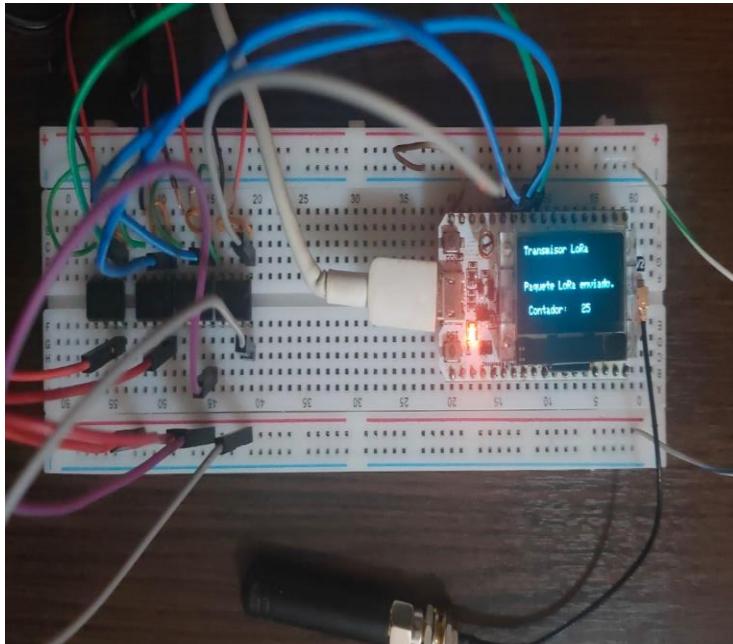
FUENTE: ELABORACION PROPIA

### 3.4.2. Ensamblaje del prototipo de recolección de datos

Para la realización del ensamblaje del prototipo se realizó la conexión del diagrama del circuito y se conectó los sensores medidores de corriente a los puntos donde se requiere medir el flujo de corriente como se muestra en la siguiente imagen.

## MARCO PRÁCTICO

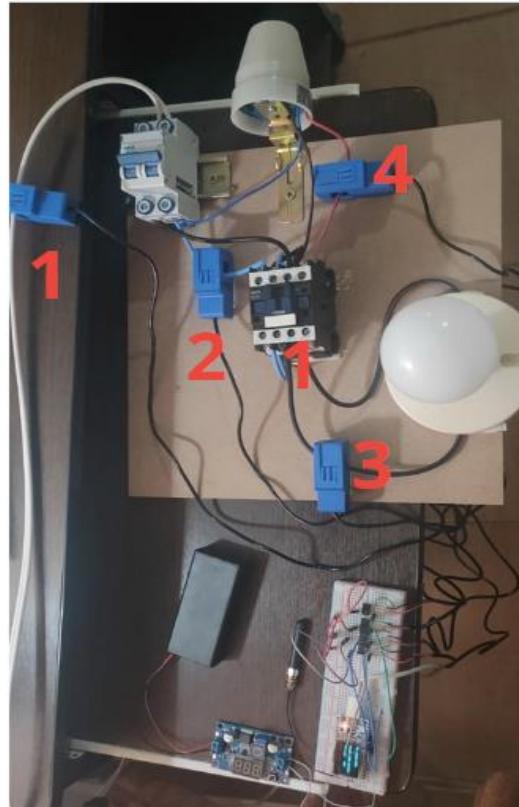
IMAGEN N°65: PROTOTIPO DEL SISTEMA DE RECOLECCION DE DATOS



Una vez realizada la conexión de los del módulo ESP 32 Lora Heltec se procede a realizar el ensamblaje de los sensores de corriente al entorno de prueba que se realizó.

## MARCO PRÁCTICO

IMAGEN N°66: PROTOTIPO ENSAMBLADO EN EL ENTORNO DE PRUEBA



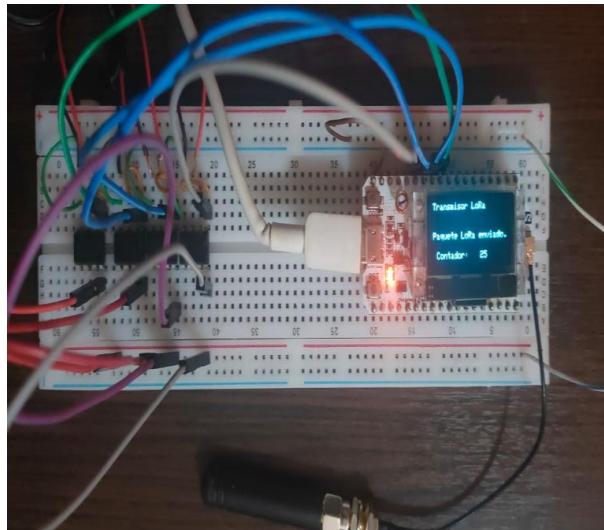
FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

### 3.4.3. Pruebas de funcionamiento

- Pruebas del sistema recolector de y transmisor de datos

## MARCO PRÁCTICO

IMAGEN N°67: PRUEBA DE TRANSMISIÓN DE DATOS



FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

# **CAPITULO IV**

# **ANÁLISIS ECONÓMICO**

## **ANÁLISIS ECONÓMICO**

---

### **CAPÍTULO IV**

#### **ANÁLISIS ECONÓMICO**

##### **4.1. VIABILIDAD TÉCNICA**

La viabilidad técnica del proyecto de monitoreo de las cajas de distribución del alumbrado público en el municipio de Quillacollo es sólida y bien fundamentada. El uso de dispositivos LoRaWAN garantiza una comunicación eficiente y de largo alcance, adecuada para la dispersión geográfica de las cajas de distribución. La plataforma Ubidots, con su capacidad de integración y escalabilidad, permite gestionar y analizar grandes volúmenes de datos en tiempo real, facilitando la detección temprana de fallos y optimizando el mantenimiento del sistema. Además, la implementación de sensores avanzados y una red de comunicación robusta asegura la fiabilidad y precisión de los datos recolectados. La infraestructura tecnológica existente en el municipio soporta la instalación de estos sistemas, y el personal técnico tiene la capacidad para manejar y mantener la plataforma, asegurando así el éxito y la sostenibilidad del proyecto a largo plazo.

##### **4.2. VIABILIDAD ECONÓMICA**

La viabilidad operacional del proyecto de monitoreo de las cajas de distribución del alumbrado público en el municipio de Quillacollo es altamente prometedora. El sistema está diseñado para ser fácil de usar y administrar, lo que permite a los técnicos locales operar y mantener el sistema sin necesidad de capacitación extensa. La plataforma Ubidots proporciona una interfaz intuitiva y herramientas de visualización de datos en tiempo real, lo que facilita la supervisión continua y la respuesta rápida a cualquier incidencia. Además, el sistema de alertas automáticas asegura que cualquier problema se detecte y aborde de inmediato, minimizando el tiempo de inactividad. La capacidad de monitorear remotamente reduce la necesidad de inspecciones físicas frecuentes, optimizando así los recursos y reduciendo costos operativos. Con el soporte técnico disponible y una comunidad activa de usuarios, cualquier desafío puede ser rápidamente resuelto, asegurando

## **ANÁLISIS ECONÓMICO**

una operación fluida y eficiente del sistema de monitoreo de alumbrado público en Quillacollo.

### **4.3. VIABILIDAD OPERACIONAL**

La viabilidad operacional del proyecto de monitoreo de las cajas de distribución del alumbrado público en el municipio de Quillacollo es muy alta. La plataforma Ubidots, conocida por su facilidad de uso, permite al personal técnico manejar el sistema con mínima capacitación. Las herramientas de visualización de datos y las alertas automáticas facilitan la supervisión continua y la detección inmediata de problemas, lo que reduce el tiempo de respuesta y mejora la eficiencia operativa. Además, la capacidad de realizar monitoreo remoto disminuye la necesidad de inspecciones físicas frecuentes, optimizando los recursos y reduciendo costos. Con el soporte técnico de Ubidots y una comunidad activa de usuarios, cualquier desafío operativo puede ser resuelto rápidamente, garantizando una operación continua y eficiente del sistema de alumbrado público en Quillacollo.

### **4.4. COSTOS DE IMPLEMENTACIÓN**

#### **4.4.1. Gastos en el hardware para el desarrollo**

**CUADRO N°16:** GASTOS DEL MODULO DE RECOLECCION Y TRANSMISION DE DATOS

	CANTIDAD	COSTO UNIDAD	COSTO TOTAL
<b>MODULO LORA HELTEC</b>	2 Bs	350 Bs	700 Bs
<b>SENSOR SCT13</b>	4 Bs	50 Bs	200 Bs
<b>Amplificador LM358</b>	4 Bs	5 Bs	20 Bs
<b>TOTAL</b>			<b>900 Bs</b>

# **CAPÍTULO V**

# **CONCLUSIONES Y**

# **RECOMENDACIONES**

## **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **CAPÍTULO V**

#### **CONCLUSIONES**

##### **CONCLUSIONES**

Si bien el prototipo no está pensado como una solución inmediata para todas las fallas en el sistema de alumbrado público del municipio de Quillacollo, está diseñado para anticipar las consecuencias de posibles fallas en las cajas de distribución, donde el tiempo de respuesta es crucial. Se logró demostrar la hipótesis del proyecto al realizar con éxito la monitorización de las cajas de distribución y la prevención mediante alertas en el servidor.

Se logró validar la formulación del problema, evidenciando la relación entre la falta de información en tiempo real sobre el estado de las cajas de distribución durante su operación y la ausencia de sistemas de monitoreo eficientes. Esto expone la importancia y la necesidad de implementar dicho sistema.

Se comprendió a la perfección la importancia de las redes de sensores inalámbricos y su desempeño en el desarrollo del Internet de las Cosas (IoT). Asimismo, se entendió la integración de aplicaciones de servidores alojados en la nube y su interacción con la red de sensores inalámbricos. Esto incluye el desarrollo e implementación del prototipo con el servidor web y la visualización de las variables representadas en el monitor durante una consulta.

Se logró investigar, analizar y seleccionar los componentes electrónicos y periféricos adecuados para el avance del proyecto. También se adquirieron componentes disponibles en el mercado que cumplen con las especificaciones necesarias para desarrollar el proyecto.

Se desarrolló con éxito la simulación de los radioenlaces, identificando el tipo de antena que utiliza el microcontrolador para la comunicación mediante LoRa. Se

## **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

---

evaluaron las potencias de transmisión de datos entre los posibles nodos de monitoreo y sus pérdidas de trayectoria de enlace, garantizando el margen de enlace y calculando la Potencia Isotrópica Radiada Equivalente (PIRE).

### **RECOMENDACIONES**

Si bien el prototipo no está pensado como una solución inmediata para todas las fallas en el sistema de alumbrado público del municipio de Quillacollo, está diseñado para anticipar las consecuencias de posibles fallas en las cajas de distribución, donde el tiempo de respuesta es crucial. Se logró demostrar la hipótesis del proyecto al realizar con éxito la monitorización de las cajas de distribución y la prevención mediante alertas en el servidor.

Se logró validar la formulación del problema, evidenciando la relación entre la falta de información en tiempo real sobre el estado de las cajas de distribución durante su operación y la ausencia de sistemas de monitoreo eficientes. Esto expone la importancia y la necesidad de implementar dicho sistema.

Se comprendió a la perfección la importancia de las redes de sensores inalámbricos y su desempeño en el desarrollo del Internet de las Cosas (IoT). Asimismo, se entendió la integración de aplicaciones de servidores alojados en la nube y su interacción con la red de sensores inalámbricos. Esto incluye el desarrollo e implementación del prototipo con el servidor web y la visualización de las variables representadas en el monitor durante una consulta.

# **BIBLIOGRAFÍA**

## BIBLIOGRAFÍA

Haga clic o pulse aquí para escribir texto.

*Alumbrado Público, Todo lo que Debes Saber | FactorLED|.* (s. f.). Recuperado 16 de octubre de 2023, de <https://www.factorled.com/blog/es/consigue-una-iluminacion-optima-para-tu-alumbrado-publico/>

Andrade, R. A., Salas, P. H., & Paredes, D. S. (2008). Tecnología wi-fi. *Publicaciones sobre nuevas tecnologías*.

Becolve Digital. (2022, junio 14). *Conceptos técnicos básicos que te ayudarán a entender LoRa y LoRaWAN (Low Power Wide Area Network) en pocos minutos.*

Brand, T., & Hohmann, V. (2001). Effect of Hearing Loss, Centre Frequency, and Bandwidth on the Shape of Loudness Functions in Categorical Loudness Scaling: Efecto de la hipoacusia, la frecuencia central y el ancho de banda, en la configuración de las funciones de sonoridad en una escala categórica de sonoridad. *Audiology*, 40(2), 92-103.

Carballar, J. A., & Falcón, J. A. C. (2010). *WI-FI. Lo que se necesita conocer.* RC libros.

electronilab. (s. f.). *Sensor Corriente Efecto Hall 50A CJMCU-758.*

Lora alliance. (2015). *LoRA WAN .*

*Luminaria alumbrado publico: Componentes y tipos – Blog Móvil Urbano – Forjas.* (s. f.). Recuperado 9 de marzo de 2024, de <https://forjas.es/blog/luminaria-alumbrado-publico-componentes-y-tipos/>

mechatronicstore. (s. f.). *Modulo HELTEC LoRa 32 ESP32 863-928 MHz con pantalla OLED de 0.96.*

naylampmechatronics. (s. f.). *Tutorial sensor de corriente ACS712*. Recuperado 10 de marzo de 2024, de [https://naylampmechatronics.com/blog/48\\_tutorial-sensor-de-corriente-ac712.html](https://naylampmechatronics.com/blog/48_tutorial-sensor-de-corriente-ac712.html)

lummi. (s. f.). *¿Qué es una Luminaria y cómo se clasifica? – Lummi*. Recuperado 11 de marzo de 2024, de <https://www.lummi.com.mx/blogs/noticias/que-es-una-luminaria-y-como-se-clasifica>

Salazar, J. (2012). Redes Inalámbricas. En *European Virtual Learning Platform for Electrical and Information Engineering* (Vol. 2, Número 1).

Sempértegui, F., Rector María Augusta Espín, P. D., Mercedes Gavilánez, M., Posso Zumárraga, M., Sc Vicerrector Administrativo Financiero, M., & Terán Juan Carlos Cobos Marco Chiluisa, G. (2022). Microcontroladores. *PRODUCCIÓN DOCENTES UCE*.

Serna, A., Ros, F., & Rico, J. C. (2010). *Guía práctica de sensores*. Creaciones copyright SL.

Susilo, J., Febriani, A., Rahmalisa, U., & Irawan, Y. (2021). Car parking distance controller using ultrasonic sensors based on arduino uno. *Journal of Robotics and Control (JRC)*, 2(5). <https://doi.org/10.18196/jrc.25106>

tecbolivia. (s. f.). *Placa de Desarrollo NUCLEO-F446RE STM32 con STM32F446RET6*.

tienda.bricogek. (s. f.). *Sensor de corriente AC no invasivo - SCT-013 (30A)*.

Torres Martínez, H., Rodríguez Hernández, A., De Planeación, S., Jairo, E., Castañeda, P., Fernando, C., Franco, V., Herrera, F. A., Asesor, L., Amórtegui, F., Jesús, G., Quintero, Q., Duarte, O., Redacción, V., Páez, E., César, A., Rojas, E. R., Carlos, I., Marmolejo, E. N., ... Ruiz, M. R. (2007). *Alumbrado público exterior Impresión POLIGRAMA*.

Unir. (s. f.). *LoRaWAN: ¿Qué es y para qué sirve?* Recuperado 9 de marzo de 2024,  
de <https://www.unir.net/ingenieria/revista/lorawan/>

Zúñiga López, V. (2005). *Redes de Transmisión de datos.*

## **GLOSARIO**

---

### **GLOSARIO**

La velocidad de transmisión (bit rate del inglés) es el número de bits transferidos o recibidos por unidad de tiempo (Unidades: bps o bit/s)

Un Módem es un dispositivo que permite a un ordenador transmitir y recibir datos

# **ANEXOS**

## **Anexo I:**

## **Anexo 2:**

Entrevista

Entrevista con el Personal del Alumbrado Público sobre el Plan de Contingencia ante Fallas:

1. ¿Existe un plan de contingencia formalmente documentado para manejar las fallas en el sistema de alumbrado público?
2. ¿Cuándo fue la última vez que se actualizó este plan?
3. ¿Qué indicadores o señales se monitorean regularmente para prevenir las fallas en el alumbrado público?
4. ¿Cuál es el procedimiento que siguen como entidad encargada cuando se detecta una falla en el alumbrado público?
5. ¿Cuánto tiempo suele pasar desde que se detecta una falla hasta que se inicie la reparación?
6. ¿Qué canales de comunicación se utilizan para informar a los vecinos afectados de la zona sobre las fallas y el progreso de las reparaciones?
7. ¿Cuántos equipos de reparación están disponibles y cómo se distribuyen para cubrir las fallas?
8. ¿Cuál es la formación y capacitación que recibe el personal para manejar situaciones de contingencia contra fallas en el alumbrado público?
9. ¿Cómo se recopilan y analizan datos de las fallas para mejorar continuamente el sistema de alumbrado público?
10. ¿Cuáles son los principales desafíos que enfrenta el equipo al manejar las fallas en el sistema de alumbrado público?

## **Anexo 3:**

Encuesta

## Encuesta sobre el Alumbrado Público en la ciudad de Quillacollo

### Introducción:

Gracias por participar en esta encuesta. Su opinión es valiosa y ayudará a mejorar el sistema de alumbrado público en ciudad de Quillacollo. Las respuestas son anónimas y confidenciales.

1. ¿Con qué frecuencia experimenta problemas de iluminación en las áreas de alumbrado público de Quillacollo, como luces apagadas, parpadeantes o insuficientes?

- Cada día
- Una vez a la semana
- Una vez al mes
- Raramente
- Nunca

2. ¿Usted ha experimentado problemas de iluminación, como luces apagadas o parpadeantes, en las áreas de alumbrado público el municipio de Quillacollo?

- Sí
- No

3. ¿Si ha experimentado problemas de iluminación, ha reportado estas fallas a las autoridades o empresas responsables? (Selecciona todas las que correspondan)

- Sí, a través de una línea telefónica de reportes
- Sí, en persona en las oficinas de alumbrado público en el municipio
- No, no sabía cómo reportar las fallas
- No, no consideré importante reportarlo

4. ¿Usted tiene conocimiento de cuál es el número de la línea telefónica de atención al cliente del alumbrado público en el municipio de Quillacollo?

- Si

- No

5. ¿En caso de haber reportado una falla de funcionamiento en el alumbrado público en el municipio de Quillacollo en cuanto tiempo la falla ha sido reparada?

- 1 - 5 horas
- Mas de 5 horas
- 1 - 2 días
- 1 semana
- Mas de 1 semana

6. ¿En una escala del 1 al 5, donde 1 es "muy insatisfecho" y 5 es "muy satisfecho", ¿cómo calificaría la calidad de servicio de reparación de fallas del alumbrado público en la ciudad de Quillacollo?

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5

7. ¿Qué mejoras te gustaría ver en el sistema de alumbrado público de Quillacollo?

(Puedes seleccionar varias opciones)

Reparación más rápida de fallas de funcionamiento

Mayor cantidad de luces en áreas clave

Mayor control en el sistema de alumbrado publico

Otras (por favor, especifica)

Información personal (Opcional)

Edad: \_\_\_\_\_

Género: (opcional) [ ] Masculino [ ] Femenino [ ] Otro

Zona de residencia en la ciudad de Quillacollo: \_\_\_\_\_

## **Anexo 4:**

Código Fuente

```

TRANSMISOR
#include <Wire.h>
#include <LoRa.h>

// Pines de los sensores de corriente
#define CURRENT_SENSOR_1 34
#define CURRENT_SENSOR_2 35
#define CURRENT_SENSOR_3 32
#define CURRENT_SENSOR_4 33

// Pines LoRa
#define LORA_SS 18
#define LORA_RST 14
#define LORA_DIO0 26

void setup() {
    Serial.begin(115200);
    while (!Serial);

    // Inicializar LoRa
    LoRa.setPins(LORA_SS, LORA_RST, LORA_DIO0);
    if (!LoRa.begin(915E6)) { // Asegúrate de usar la frecuencia correcta para tu
        región
        Serial.println("Starting LoRa failed!");
        while (1);
    }
}

void loop() {
    float current1 = analogRead(CURRENT_SENSOR_1) * (30.0 / 4096.0); //
    Convertir la lectura a amperios
    float current2 = analogRead(CURRENT_SENSOR_2) * (30.0 / 4096.0);
    float current3 = analogRead(CURRENT_SENSOR_3) * (30.0 / 4096.0);
    float current4 = analogRead(CURRENT_SENSOR_4) * (30.0 / 4096.0);

    String data = String(current1) + "," + String(current2) + "," + String(current3)
    + "," + String(current4);

    // Verificar si alguna corriente es 0 (indicando un posible corte)
    if (current1 == 0) {
        data += ",ALERTA: Corte en punto 1";
    } else if (current2 == 0) {
        data += ",ALERTA: Corte en punto 2";
    } else if (current3 == 0) {
        data += ",ALERTA: Corte en punto 3";
    } else if (current4 == 0) {

```

```

        data += ",ALERTA: Corte en punto 4";
    }

LoRa.beginPacket();
LoRa.print(data);
LoRa.endPacket();

delay(2000); // Esperar 2 segundos antes de la próxima lectura
}RECEPTOR
}

#include <WiFi.h>
#include <PubSubClient.h>
#include <LoRa.h>

// Pines LoRa
#define LORA_SS 18
#define LORA_RST 14
#define LORA_DIO0 26

// Credenciales WiFi
const char* ssid = "your_SSID";
const char* password = "your_PASSWORD";

// Ubidots MQTT
const char* mqttBroker = "industrial.api.ubidots.com";
const char* mqttUser = "ubidots";
const char* mqttToken = "your_ubidots_token";
const char* deviceLabel = "monitoring_node"; // Nombre del dispositivo en
Ubidots

WiFiClient wifiClient;
PubSubClient client(wifiClient);

void setup() {
    Serial.begin(115200);

    // Conectar a WiFi
    WiFi.begin(ssid, password);
    while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
        delay(1000);
        Serial.println("Connecting to WiFi...");
    }
    Serial.println("Connected to WiFi");

    // Inicializar MQTT

```

```

client.setServer(mqttBroker, 1883);

// Inicializar LoRa
LoRa.setPins(LORA_SS, LORA_RST, LORA_DIO0);
if (!LoRa.begin(915E6)) { // Asegúrate de usar la frecuencia correcta para tu
    región
    Serial.println("Starting LoRa failed!");
    while (1);
}
}

void reconnect() {
    // Intentar reconectar hasta que tenga éxito
    while (!client.connected()) {
        Serial.print("Attempting MQTT connection...");
        if (client.connect("ESP32Client", mqttUser, mqttToken)) {
            Serial.println("connected");
        } else {
            Serial.print("failed, rc=");
            Serial.print(client.state());
        }
        Serial.println(" try again in 5 seconds");
    }
}

// Separar los datos recibidos
int index1 = receivedData.indexOf(',');
int index2 = receivedData.indexOf(',', index1 + 1);
int index3 = receivedData.indexOf(',', index2 + 1);
int index4 = receivedData.indexOf(',', index3 + 1);

float current1 = receivedData.substring(0, index1).toFloat();
float current2 = receivedData.substring(index1 + 1, index2).toFloat();
float current3 = receivedData.substring(index2 + 1, index3).toFloat();
float current4 = receivedData.substring(index3 + 1, index4).toFloat();

String alertMessage = receivedData.substring(index4 + 1);

Serial.println("Current 1: " + String(current1) + " A");
Serial.println("Current 2: " + String(current2) + " A");
Serial.println("Current 3: " + String(current3) + " A");
Serial.println("Current 4: " + String(current4) + " A");
if (alertMessage.startsWith("ALERTA")) {
    Serial.println(alertMessage);
}

// Enviar datos a Ubidots usando MQTT
char payload[200];

```

```
    sprintf(payload, sizeof(payload), "{\"%s\": %f, \"%s\": %f, \"%s\": %f,
\"%s\": %f}",
"current1", current1, "current2", current2, "current3", current3,
"current4", current4);

char topic[150];
sprintf(topic, sizeof(topic), "/v1.6/devices/%s", deviceLabel);

client.publish(topic, payload);

if (alertMessage.startsWith("ALERTA")) {
    char alertPayload[200];
    sprintf(alertPayload, sizeof(alertPayload), "{\"alert\": \"%s\"",
alertMessage.c_str());
    client.publish(topic, alertPayload);
}
}

delay(2000);
```

