



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN SISTEMAS, ELECTRÓNICA E**  
**INDUSTRIAL**  
**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y**  
**COMUNICACIONES**

TEMA:

---

**SISTEMA DE MONITOREO Y CONTROL DEL ALUMBRADO PÚBLICO**  
**MEDIANTE UNA RED DE SENSORES RF**

---

Trabajo de Graduación. Modalidad: Proyecto de Investigación, presentado previo la obtención del título de Ingeniero en Electrónica y Comunicaciones.

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:**

**COMUNICACIONES INALÁMBRICAS**

**AUTOR: FREDDY PATRICIO NUÑEZ NUÑEZ**

**TUTOR: ING. JUAN PABLO PALLO NOROÑA**

Ambato - Ecuador

OCTUBRE 2016 - Mayo 2017

## APROBACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de Tutor del Trabajo de Investigación sobre el Tema:

“SISTEMA DE MONITOREO Y CONTROL DEL ALUMBRADO PÚBLICO MEDIANTE UNA RED DE SENSORES RF”, del señor, FREDDY PATRICIO NUÑEZ NUÑEZ estudiante de la Carrera de Ingeniería en Electrónica y Comunicaciones, de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial, de la Universidad Técnica de Ambato, considero que el informe investigativo reúne los requisitos suficientes para que continúe con los trámites y consiguiente aprobación de conformidad con el numeral 7.2 de los Lineamientos Generales para la aplicación de Instructivos de las Modalidades de Titulación de las Facultades de la Universidad Técnica de Ambato.

Ambato, Mayo de 2017

EL TUTOR

---

Ing. Juan Pablo Pallo Noroña, Mg.

## AUTORÍA

El presente trabajo de investigación titulado: SISTEMA DE MONITOREO Y CONTROL DEL ALUMBRADO PÚBLICO MEDIANTE UNA RED DE SENSORES RF. Es absolutamente original, auténtico y personal, en tal virtud, el contenido, efectos legales y académicos que se desprenden del mismo son de exclusiva responsabilidad del autor.

Ambato, Mayo de 2017

---

CC: 0201586823

Freddy Patricio Nuñez Nuñez

## **DERECHOS DE AUTOR**

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga uso de este Trabajo de Titulación como un documento disponible para la lectura, consulta y procesos de investigación. Cedo los derechos de mi Trabajo de Titulación, con fines de difusión pública, además autorizo su reproducción dentro de las regulaciones de la Universidad.

Ambato, Mayo de 2017

---

CC: 0201586823

Freddy Patricio Nuñez Nuñez

## APROBACIÓN COMISIÓN CALIFICADORES

La Comisión Calificadora del presente trabajo conformada por los señores docentes Ingenieros: Manuel Otorongo Cornejo y Paulina Ayala Baño, revisó y aprobó el Informe Final del trabajo de graduación titulado SISTEMA DE MONITOREO Y CONTROL DEL ALUMBRADO PÚBLICO MEDIANTE UNA RED DE SENSORES RF, presentado por el señor FREDDY PATRICIO NUÑEZ NUÑEZ, de acuerdo al numeral 9.1 de los Lineamientos Generales para la aplicación de Instructivos de las Modalidades de Titulación de las Facultades de la Universidad Técnica de Ambato.

---

PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

Ing. Elsa Pilar Urrutia Urrutia, Mg.

---

Ing. Manuel Otorongo Cornejo, Mg.  
DOCENTE CALIFICADOR

---

Ing. Paulina Ayala Baño, Mg.  
DOCENTE CALIFICADOR

## **DEDICATORIA**

A mi mamá por todo el apoyo brindado durante el transcurso de mi vida, por jamás rendirse en el difícil papel de ser al mismo tiempo padre y madre y sobre todo por hacer de mi una persona de bien gracias a los principios y valores inculcados.

A mi familia, amigos y compañeros que me han brindado su apoyo incondicional a lo largo de toda mi vida, lo que ha hecho posible el cumplimiento de mis metas y objetivos.

Freddy Patricio Nuñez

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios por guiar mis pasos durante toda mi vida, por permitirme cumplir todos mis metas y sueños.

A Oswaldo Veloz Duran y a mis hermanos Carlos, Oswaldo y Estefany por brindarme su apoyo y compañía durante todo el transcurso de mi vida.

A Paola Santos por brindarme su amor sincero e incondicional, por su entrega y su apoyo total en el transcurso de mi carrera.

A mis familiares que me han brindado una gran ayuda en toda mi vida.

A mis amigos incondicionales de toda mi vida.

Al Ing. Juan Pablo Pallo por su tiempo, apoyo y paciencia brindado a lo largo del desarrollo del presente proyecto.

Freddy Patricio Nuñez

## ÍNDICE

<b>APROBACIÓN DEL TUTOR</b>	<b>ii</b>
<b>AUTORÍA</b>	<b>iii</b>
<b>DERECHOS DE AUTOR</b>	<b>iii</b>
<b>APROBACIÓN COMISIÓN CALIFICADORA</b>	<b>v</b>
<b>DEDICATORIA</b>	<b>vi</b>
<b>AGRADECIMIENTO</b>	<b>vii</b>
<b>RESUMEN</b>	<b>xv</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>xvi</b>
<b>GLOSARIO DE TÉRMINOS Y ACRÓNIMOS</b>	<b>xvii</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>xx</b>
<b>CAPÍTULO I EL PROBLEMA</b>	<b>1</b>
1.1 Tema de Investigación . . . . .	1
1.2 Planteamiento del problema . . . . .	1
1.3 Delimitación . . . . .	3
1.3.1 De Contenidos . . . . .	3
1.3.2 Temporal . . . . .	3
1.4 Justificación . . . . .	3
1.5 Objetivos . . . . .	5
1.5.1 General . . . . .	5
1.5.2 Específicos . . . . .	5
<b>CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO</b>	<b>6</b>
2.1 Antecedentes Investigativos . . . . .	6
2.2 Fundamentación teórica . . . . .	12



2.2.1	Alumbrado Público . . . . .	12
2.2.2	sistemas de Telegestión del Alumbrado Público . . . . .	15
2.2.3	Redes de Sensores Inalámbricos (WSN) . . . . .	18
2.2.4	Eficiencia Energética y Ahorro Energético . . . . .	19
2.2.5	Propagación de ondas electromagnéticas en ambientes abiertos y cerrados . . . . .	20
2.2.6	Plataformas de Hardware Libre . . . . .	24
2.2.7	Transreceptor NRF24l01 . . . . .	27
2.2.8	Servidores LAMP . . . . .	29
2.3	Propuesta de Solución . . . . .	31
<b>CAPÍTULO III METODOLOGÍA</b>		<b>32</b>
3.1	Población y muestra . . . . .	32
3.2	Recolección de información . . . . .	33
3.3	Procesamiento y análisis de datos . . . . .	33
3.4	Desarrollo del Proyecto . . . . .	33
<b>CAPÍTULO IV DESARROLLO DE LA PROPUESTA</b>		<b>35</b>
4.1	Análisis de los parámetros técnicos del alumbrado público a considerar.	36
4.1.1	Consumo de Energía . . . . .	36
4.1.2	Vida Útil . . . . .	40
4.1.3	Eficacia de la fuente de luz . . . . .	41
4.2	Requerimientos Técnicos . . . . .	41
4.2.1	Red de sensores RF . . . . .	42
4.2.2	Concentrador de Datos o Gateway . . . . .	44
4.2.3	Monitoreo y control remoto . . . . .	44
4.3	Análisis técnico del hardware requerido . . . . .	45
4.3.1	Comunicación RF . . . . .	49
4.4	Diseño de la red de sensores RF . . . . .	58
4.4.1	Análisis matemático . . . . .	59
4.4.2	Análisis de la red de sensores bajo simulación . . . . .	64
4.4.3	Análisis Estadístico . . . . .	65
4.5	Adquisición y Acondicionamiento de señales . . . . .	67
4.6	Procesamiento y envío de Variables . . . . .	70
4.7	Entramado y transporte de información . . . . .	70
4.8	Presentación de datos . . . . .	70
4.9	Diseño electrónico del prototipo . . . . .	73
4.10	Análisis Económico . . . . .	77

4.10.1	Costos del proyecto implementado . . . . .	77
4.10.2	Análisis de los costos de implementación y recuperación de la inversión. . . . .	79
4.11	Pruebas de funcionamiento del prototipo . . . . .	82
<b>CAPÍTULO V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>		<b>85</b>
5.1	Conclusiones . . . . .	85
5.2	Recomendaciones . . . . .	87
<b>Bibliografía</b>		<b>88</b>
<b>ANEXOS</b>		<b>94</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

2.1	Eficacia de focos utilizados en alumbrado público [22]. . . . .	13
2.2	Vida útil promedio de lámparas utilizadas en alumbrado público [22].	14
2.3	Radio máximo de cobertura en dispositivos de la banda de 2.4Ghz [27].	24
2.4	Características generales de frecuencia del chip NRF24L01 [34] . . . .	27
2.5	Consumo de corriente para los diversos estados del NRF24L01 [34]. .	28
4.1	Disipación de potencia de lámparas utilizadas en alumbrado público con balastro y sin balastro [22]. . . . .	36
4.2	Costos de alumbrado público por empresas en Ecuador [38]. . . . .	38
4.3	Lámparas LED equivalentes a las VSAP [39]. . . . .	39
4.4	Análisis técnico comparativo entre los diferentes microcontroladores utilizados en placas de desarrollo. . . . .	46
4.5	Análisis técnico comparativo entre los diferentes sensores de corriente utilizados en placas Arduino. . . . .	47
4.6	Análisis técnico comparativo entre los diferentes sensores de presencia utilizados en Arduino. . . . .	48
4.7	Análisis técnico de módulos de comunicación RF. . . . .	49
4.8	Análisis técnico comparativo entre los conmutadores electromagnéticos.	51
4.9	Análisis técnico comparativo entre los conmutadores de estado sólido.	52
4.10	voltaje de alimentación en función del cristal utilizado en el microcontrolador Atmega328p. . . . .	53
4.11	Análisis técnico entre baterías y pilas. . . . .	53
4.12	Análisis de plataformas de hardware libre para concentración de datos.	54
4.13	Análisis técnico de las computadoras de bolsillo existentes en el mercado. . . . .	56
4.14	Distribuciones Linux ARM 32 bits. . . . .	57
4.15	T(IRQ) en función de la velocidad de transmisión soportada por el NRF24L01 . . . . .	60
4.16	Análisis de parámetros técnicos de propagación de los transreceptores NRF24L01 en sus diferentes modelos. . . . .	63
4.17	Taza de bit erróneo (BER) obtenida del simulador Omnet++ v4 . . .	64

4.18	Detalle de costos en la etapa de la red de sensores para lámparas de descarga. . . . .	77
4.19	Detalle de costos en la etapa de la red de sensores para lámparas LED.	78
4.20	Detalle de costos para el concentrador de datos del prototipo. . . . .	78
4.21	Detalle de Costos servidor de monitoreo. . . . .	78
4.22	Costo de mantenimiento de un sector. . . . .	79
4.23	Costo de mantenimiento utilizando el sistema propuesto. . . . .	80
4.24	Análisis de parámetros de factibilidad del proyecto. . . . .	81

## ÍNDICE DE FIGURAS

1.1	Vida y consumo de la lámpara en función de la tensión de la red [1] . . . . .	1
2.1	Proyecto Twilight [6] . . . . .	7
2.2	Arquitectura del sistema descentralizado de alumbrado público [7] . . . . .	7
2.3	Esquema general del sistema SCADA para el alumbrado público [9] . . . . .	8
2.4	Arquitectura del sistema de monitoreo de alumbrado público [10] . . . . .	9
2.5	Esquema general del control inteligente de iluminación fotovoltaica [11] . . . . .	9
2.6	Diagrama del sistema propuesto para el ILUPLUS [12] . . . . .	10
2.7	Arquitectura de la red de monitoreo de alumbrado público [14] . . . . .	11
2.8	Escenario de control de las luminarias de alumbrado público [16] . . . . .	11
2.9	Distribución del alumbrado público de un sector [20]. . . . .	12
2.10	Sistema de Telegestión del Alumbrado público [3] . . . . .	15
2.11	Esquema de funcionamiento de Powerline [18] . . . . .	16
2.12	Red inalámbrica tipo malla [23] . . . . .	17
2.13	Red inalámbrica punto-multipunto [24] . . . . .	18
2.14	Arquitectura de una red de sensores inalámbricos . . . . .	18
2.15	Ocupación de la banda de 2,4 GHz según IEEE 802.15.4 y 802.11b/g. . . . .	20
2.16	Potencia recibida teórica de los modelos de propagación [27]. . . . .	21
2.17	Tarjetas electrónicas de código abierto Arduino [28]. . . . .	25
2.18	Minicomputador Raspberry Pi [30]. . . . .	26
2.19	Transreceptor NRF24l01 . . . . .	27
2.20	Componentes de un servidor LAMP [35]. . . . .	29
4.1	Esquema general del proyecto a implementarse . . . . .	35
4.2	Esquema de la topología de red inalámbrica propuesta. . . . .	41
4.3	Esquema general de un nodo sensor (esclavo). . . . .	43
4.4	Esquema general a) Concentrador de datos. b) Servidor Web. . . . .	45
4.5	Trama ShockBurst™ mejorada del NRF24l01[34]. . . . .	59
4.6	Topología simulada de la red de sensores en OMNET++ 4. . . . .	64

4.7	Comportamiento del BER en función de la distancia para el transreceptor NRF24l01. . . . .	66
4.8	Comportamiento del Troughtput en función de la distancia para el transreceptor NRF24l01 . . . . .	67
4.9	Diagrama esquemático del sensor de corriente. . . . .	68
4.10	Salida de voltaje normalizado vs corriente sensada. . . . .	68
4.11	Sensor de iluminación ambiental basado en una fotocelda. . . . .	69
4.12	Algoritmo del nodo sensor para lámparas de gases a presión. . . . .	71
4.13	Algoritmo del nodo sensor para lámparas LED. . . . .	72
4.14	Algoritmo de entramado y transporte de información. . . . .	74
4.15	Algoritmo de almacenamiento y presentación de datos. . . . .	75
4.16	PCB diseñado para los nodos sensores. . . . .	76
4.17	Prototipo del sistema de monitoreo y control de alumbrado público . .	76
4.18	Comparación entre costos de mantenimiento actual y propuesto. . . .	81
4.19	Monitoreo en tiempo real de las luminarias de alumbrado público. . .	82
4.20	Presentación de horas de encendido transcurridas por luminaria. . . .	83
4.21	Gráfica de potencia consumida por tecnología de iluminación. . . . .	84

## RESUMEN

El presente proyecto propone un sistema de monitoreo y control del alumbrado público, basado en una red inalámbrica de módulos NRF24, bajo el estándar SPI y el protocolo Shockburst para comunicaciones.

El principal objetivo, tratar de solucionar la problemática en el servicio de alumbrado público en el Ecuador; debido al fallo en las luminarias por largos periodos de funcionamiento, cumplimiento de la vida útil, daños por vandalismo y el incumplimiento de la regulación 005/14 impuesta por el CONELEC.

La red de sensores RF para el control de alumbrado público propuesto permite: monitorear en tiempo real las luminarias, generar alarmas ante eventos adversos y optimizar recursos independientemente de la tecnología de iluminación que se utilice (LED, gases a presión). A través de una topología punto-multipunto se envía los datos desde los nodos esclavos colocados en cada uno de los postes hacia el concentrador ubicado en un punto estratégico en función del perfil topográfico del sector, este los lleva a un servidor para la correspondiente presentación de datos; cuando se haya producido una falla se notifica al operador con el propósito que tenga la información actualizada que le permita generar reportes y tomar decisiones precisas para el mantenimiento y mejoramiento continuo del sistema, a un bajo costo, de manera segura, confiable y fácil de utilizar.

## ABSTRACT

This project proposes a system of monitoring and control of street lighting, It's based on a wireless network of NRF24 modules, It's playing under SPI and Shockburst communication protocols.

The main goal is to solve the problem in the street lighting service in Ecuador; Due to failure in the luminaires for long periods of operation, compliance with the useful life and damages due to vandalism, in addition, the non-compliance with regulation 005/14 imposed by CONELEC.

The WSN for the proposed street lighting control allows: real-time monitoring of luminaires, alarms against adverse events and optimization of resources regardless of the lighting technology used (LEDs, pressure gases). It's playing through a point-multipoint network, the data is sent from the slave nodes placed on each of the poles to the concentrator located at a strategic point according to the topographic profile of the place, this takes them to a server for the corresponding presentation of data; When a failure has occurred, the operator is notified with the purpose to have the updated information that allows him to generate reports and make precise decisions for the maintenance and continuous improvement of the system, at a low cost, in a safe, reliable and easy to use .



## Glosario de términos y acrónimos.

- **AJAX:** (Asynchronous JavaScript And XML), es una técnica de desarrollo web para crear aplicaciones interactivas o RIA (Rich Internet Applications).
- **APIs de Google:** Conjunto de interfaces de programación de aplicaciones ( API ) desarrolladas por Google que permiten la comunicación con los Servicios de Google y su integración a otros servicios.
- **Arduino:** Es una placa de circuito impreso con un microcontrolador, usualmente Atmel AVR, puertos digitales y analógicos de entrada/salida los cuales pueden conectarse a placas de expansión (shields).
- **ARM:** Arquitectura RISC de 32 bits para computadoras de bolsillo.
- **AVR:** Familia de microcontroladores RISC del fabricante Atmel.
- **CSS:** Hojas de Estilo en Cascada utilizado para describir la presentación de documentos HTML o XML.
- **Eficacia luminosa:** Es la relación existente entre el flujo luminoso (en lúmenes) emitido por una fuente de luz y la potencia (en vatios)W.
- **GNU/Linux:** Sistema operativo basado en software libre soportado por la comunidad.
- **GUI:** Graphical User Interface.
- **Hardware:** Conjunto de elementos o materiales físicos que constituyen un sistema electrónico informático.
- **HTML:** Lenguaje de marcado para la elaboración de páginas web.
- **ISM:** (Industrial, Scientific and Medical) son bandas reservadas internacionalmente para uso no comercial de radiofrecuencia electromagnética en áreas industrial, científica y médica.

- JavaScript: Lenguaje de programación interpretado, dialecto del estándar ECMAScript. Se define como orientado a objetos, basado en prototipos, imperativo, débilmente tipado y dinámico.
- jQuery: Biblioteca multiplataforma de JavaScript, que permite simplificar la manera de interactuar con los documentos HTML, manipular el árbol DOM, manejar eventos, desarrollar animaciones y agregar interacción con la técnica AJAX a páginas web.
- LAMP: Servidor compuesto de un SO Linux y de las herramientas Apache, MySQL y PHP.
- LED: Light Emiting Diode.
- Microcontrolador: Circuito integrado programable, capaz de almacenar y ejecutar ordenes pre-grabadas en su memoria.
- NRF24l01: Dispositivo basado en el chip NRF24 de la empresa Nordic que ofrecen una solución de bajo coste para aplicaciones de RF.
- CB: Print Circuit Board.
- PHP: Lenguaje de código abierto muy popular especialmente adecuado para el desarrollo web y que puede ser incrustado en HTML.
- PWM: Pulse Width Modulation.
- Raspberry Pi: Computador de placa reducida (SBC) de bajo coste desarrollado en Reino Unido por la Fundación del mismo nombre.
- Red Pseudo mesh: Red basada en subredes con un nodo maestro y pocos esclavos que generan una única ruta de transmisión.
- RF: Radio Frecuencia.
- RISC: Reduced Instruction Set Computer.
- Shockburst: Protocolo básico que soporta la comunicación bidireccional de paquetes de datos incluyendo el almacenamiento en búfer, el reconocimiento y la retransmisión automática de paquetes perdidos.
- TCP/IP: Es un conjunto de protocolos que permiten la comunicación entre los dispositivos pertenecientes a una red.

- Tiempo Real: Término utilizado para describir la presentación o reacción ante un evento generado en el momento de aparición del mismo.
- Vida útil: Es la duración estimada que un material puede tener, cumpliendo correctamente con la función para el cual ha sido creado. Normalmente se calcula en horas de duración.
- VSAP: Vapor de sodio a alta presión.
- WSN: Wireless Sensor Network.

## INTRODUCCIÓN

La creciente tecnología en comunicaciones inalámbricas, han hecho que sistemas alámbricos queden de lado en ciertas aplicaciones. Desde la aparición de las redes de sensores inalámbricos, muchas aplicaciones de adquisición de datos, control de sistemas de potencia y SCADAs han sido desarrolladas desde otro enfoque tecnológico con el fin de facilitar su implementación, migración y adaptabilidad garantizando eficiencia, rapidez, seguridad y un mejor manejo de recursos. Una de las aplicaciones de las WSN que actualmente se encuentra en desarrollo es el monitoreo de redes eléctricas y las instalaciones de alumbrado público cuyo fin es mantener controladas dichas infraestructuras y mantener informado al personal si se presentan eventos adversos en las mismas, todo esto en tiempo real.

El presente proyecto se encuentra distribuido en 5 capítulos de tal manera que en el Capítulo I se describa la problemática generada por las actuales sistemas de alumbrado público, la cual hace que el servicio sea ineficiente, presente fallas que se tardan en solucionar, que exista un desperdicio de energía y que las empresas encargadas del servicio, no cumplan las regulaciones impuestas por el organismo pertinente.

En el Capítulo II se ha de detallar un análisis previo de los antecedentes investigativos relacionados con sistemas de telegestión, monitoreo y control de redes eléctricas y alumbrado público tanto en el ámbito educativo como en el comercial, además el proyecto sera fundamentado teóricamente con lo necesario para el desarrollo del proyecto y como parte final del capitulo se da una propuesta que dará solución a la problemática expuesta en el Capitulo I.

El Capítulo III sera detallado por la información de la metodología que se va a utilizar para desarrollar el proyecto presentado en su totalidad.

En el Capítulo IV se describe de forma detallada el desarrollo del Sistema de Monitoreo y Control del Alumbrado Público basado en una red de sensores RF, así como cada uno de los componentes que componen la misma con el fin de cumplir los objetivos planteados en el Capítulo I.

Finalmente en el Capítulo V se presentan las conclusiones y recomendaciones que eviten complicaciones en posteriores trabajos de investigación que puedan basarse en la presente propuesta.

# CAPÍTULO I

## EL PROBLEMA

### 1.1. Tema de Investigación

Sistema de Monitoreo y Control del Alumbrado Público mediante una Red de Sensores RF.

### 1.2. Planteamiento del problema

El sistema de iluminación pública que se ha implementado en varios países, sufre daños constantemente, las causas que producen este problema se debe a varios factores como: el cumplimiento de la vida útil de los focos y de la misma estructura de las luminarias, transitorios presentados en la red eléctrica “ver figura 1.1”, actos de vandalismo (delincuentes destruyen las luminarias). Todo esto conlleva a tener un servicio de alumbrado público deficiente que en muchos de los casos, las empresas que prestan el servicio tardan en detectar y solucionar los problemas en el sistema.

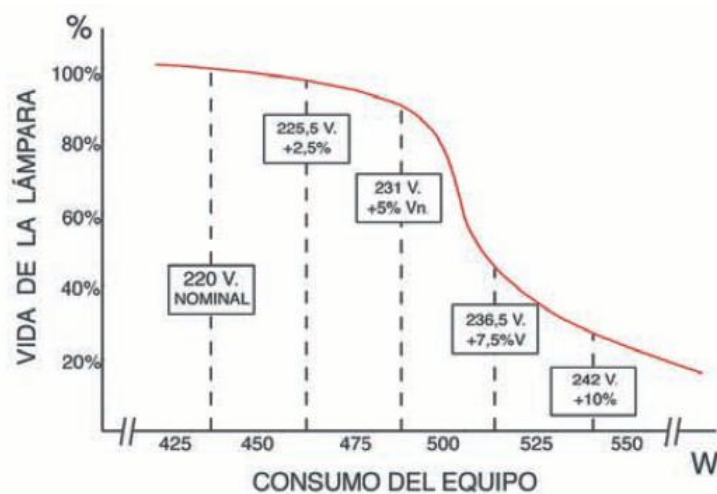


Figura 1.1: Vida y consumo de la lámpara en función de la tensión de la red [1]

La falta de iluminación en calles y avenidas es perjudicial para la salud de la comunidad, según estudios realizados en cuanto a los efectos de un buen servicio de alumbrado público sobre la tasa de delincuencia, demostró que al garantizar el funcionamiento permanente de las luminarias públicas, se reduce en un 7% la tasa de criminalidad en un sector [2].

En Ecuador, los sistemas de monitoreo y control en cuanto a redes eléctricas se refiere están limitados a estaciones y subestaciones de conversión, donde los problemas son corregidos en pocas horas, en cambio, en la red de distribución y en la de alumbrado público no existen sistemas inteligentes implementados lo que provoca retardos en su reparación y molestias en los usuarios por la calidad servicio suministrado [3].

Los mantenimientos preventivos y correctivos de las luminarias del alumbrado público, se lleva a cabo realizando inspecciones periódicas en el sitio; conllevando a que ciertos lugares pasen varios días sin el servicio, incrementando inseguridad y accidentes [4]. Por otro lado, la avería de ciertos tipos de fotocontrol de la luminaria, provoca que estas se enciendan en horas del día, existiendo un desperdicio de energía.

En muchos lugares del país los delincuentes destruyen las luminarias con el fin de no ser reconocidos por las personas o por las cámaras de seguridad instaladas en las calles y avenidas al momento de atracar, las personas no reportan estos daños a la empresa que suministra el servicio por miedo a represalias haciendo que el servicio permanezca suspendido por mucho tiempo.

En la provincia de Bolívar para detectar estas fallas en el sistema, se realizan rutinas periódicas de mantenimiento por parte de los operarios o, las personas del sector donde existe el contrat tiempo reportan el problema del sistema de iluminación. Esto conlleva a que ciertos lugares pasen varios días sin el servicio, lo que provoca inseguridad y accidentes en las calles y avenidas.

Las redes de alumbrado público existentes en Bolívar presentan dificultades de funcionamiento, en varios lugares de la provincia especialmente en zonas marginales y zonas rurales las lámparas se encuentran en mal estado en tramos completos de calles lo que provoca inseguridad en el sector especialmente en horas nocturnas. Por otro lado, las fotocelulas de control no hacen su trabajo adecuadamente, esto produce el encendido de lámparas en horas del día provocando un desperdicio de

energía. En muchos de los casos la empresa eléctrica determina los daños por simple inspección lo que provoca que el sistema sea vulnerable.

### **1.3. Delimitación**

#### **1.3.1. De Contenidos**

##### **Área Académica:**

Comunicaciones.

##### **Línea de Investigación:**

Tecnologías de Comunicación.

##### **Sublínea:**

Comunicaciones Inalámbricas.

#### **1.3.2. Temporal**

La duración de la investigación se llevo a cabo en un tiempo de seis meses a partir de la aprobación del proyecto por parte del Honorable Consejo Directivo de la Facultad de Ingeniería en sistemas, Electrónica e Industrial de la Universidad Técnica de Ambato.

### **1.4. Justificación**

Los sistemas de control y monitoreo integran una gran cantidad de información referente al funcionamiento de las luminarias del alumbrado público tales como la localización, horas de consumo, corriente consumida, etc. Toda esta información ayuda a las empresas proveedoras del servicio a optimizar recursos tanto materiales como humanos, realizar pruebas y mantenimientos preventivos, conocer los problemas en cuanto estos se presentan con el fin de garantizar el funcionamiento permanente del sistema.

El CONELEC en su regulación denominada “Prestación de Servicio del Alumbrado Público General” en la sección 6 numeral 1, determina que: “Las distribuidoras, en forma mensual y para cada uno de los diferentes tipos de luminarias, deberán llevar, utilizando como sustento el reporte de operación y reclamos, un control de las lámparas en cuanto a su funcionamiento” [5]. Un Sistema



de control y monitoreo propone una innovadora solución al control de funcionamiento del alumbrado público evitando las rutinas mensuales de mantenimiento por parte de los operarios del departamento encargado del sistema lo que garantiza una Mayor confiabilidad en los reportes, una mejor calidad de la información adquirida y un ahorro de recursos.

La gestión de los sistemas de alumbrado público es una de las Mayores preocupaciones en las empresas encargadas del servicio por lo que un sistema de monitoreo implementado en sus instalaciones es de vital importancia en el manejo de información y la toma de decisiones claras y concisas con el fin de innovar constantemente el sistema para brindar un servicio de calidad a los usuarios.

Los sistemas de Monitoreo y Control en cuanto al Alumbrado Público se refiere, presentan una respuesta tecnológica de última generación que beneficia tanto a las empresas que están a cargo del servicio de alumbrado público como a los usuarios en general ya sea directa o indirectamente mejorando el desarrollo de sus actividades en horas nocturnas, garantizando seguridad para transitar por calles y avenidas, permitiendo ahorrar energía que puede ser utilizada en otras aplicaciones que la demanden [3, 5].

El presente proyecto se implementó con tecnologías inalámbricas de bajo costo que utilizan bandas de frecuencias libres, donde su utilización es totalmente gratuita siempre que se respete los límites de potencia radiada permitida además, se utilizó distribuciones de código abierto en el servidor y hardware libre en los nodos de la red para obtener un prototipo de bajo costo y de libre acceso para que los operarios de las empresas encargadas de servicio de alumbrado público puedan obtener un control total del sistema. Las empresas encargadas del servicio concuerdan en que un sistema de control y monitoreo del alumbrado público ayudará a mejorar el servicio, obtener información actualizada y en tiempo real de las estructuras de iluminación, solucionar problemas presentados de manera eficiente y la toma de decisiones con el fin de innovar el sistema. Por lo anteriormente expresado, el presente proyecto fue factible en su implementación y en un futuro las empresas adopten el sistema en sus instalaciones de alumbrado público.

## **1.5. Objetivos**

### **1.5.1. General**

- Implementar un prototipo de un Sistema de Control y Monitoreo del Alumbrado público utilizando una red de sensores RF.

### **1.5.2. Específicos**

- Analizar los parámetros técnicos de un sistema de alumbrado público.
- Analizar los sistemas de control y monitoreo en redes de alumbrado público en la actualidad.
- Diseñar una red de sensores y actuadores inalámbricos utilizando módulos RF para el control y monitoreo del alumbrado público.

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1. Antecedentes Investigativos

Se han desarrollado numerosos sistemas de control y monitoreo del alumbrado público con diferentes tecnologías, la forma de control inalámbrica se ha hecho muy popular, tanto que empresas en el mundo se dedican a comercializar estos sistemas de monitoreo. Así mismo, existen trabajos realizados para este fin donde se busca obtener un sistema robusto, y de bajo costo a partir de redes de sensores inalámbricos.

Chintan Shah en Holanda, desarrolló lámparas inteligentes compuestas por una red sin hilos ZigBee denominado proyecto Twilight, cuyo control y gestión se hace de forma remota a través de Internet “ver figura 2.1”. Estas farolas se iluminan solamente cuando es necesario, al pasar un peatón, un ciclista o un vehículo, están equipadas con diodos LED y sensores de captación de movimiento, pudiendo ahorrar hasta un 80 % la factura de su coste, además de evitar la emisión de toneladas de CO<sub>2</sub>. Cuenta con un software que domotiza su gestión, informando en tiempo real de su estado y pudiendo actuar en caso de que pudiera suceder cualquier incidencia en su normal funcionamiento [6].

Rakesh Panguloori y Priya Mishra presentaron un trabajo de análisis acerca del dimensionamiento de sistemas de dos puntos geográficos de la India sobre la base de datos de la irradianza solar y la oscuridad del amanecer promediados mensuales con el fin de instalar luminarias LED solares en este país para obtener un sistema descentralizado y autónomo donde, cada luminaria solar debe cargarse en los días soleados, tener una autonomía de 5 días máximos en condiciones climáticas adversas y utilizar la energía solar excedente en otras necesidades energéticas locales “ver figura 2.2”, facilitando el mantenimiento y la futura interconexión en cuadrícula [7].

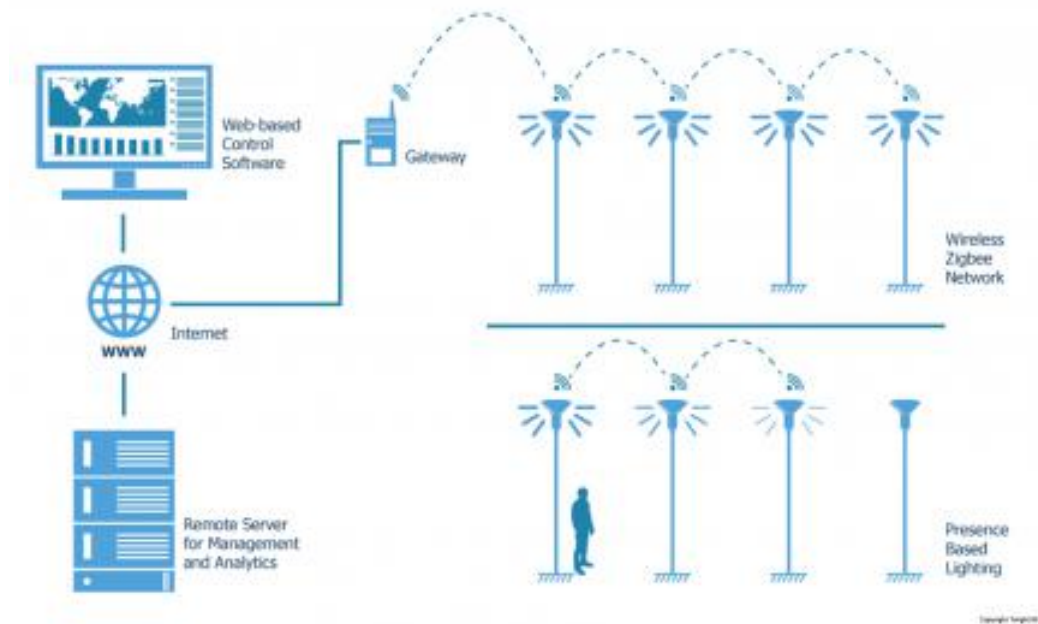


Figura 2.1: Proyecto Twilight [6]

En Guayaquil, José Chacho, Paúl SotoMayor y Nelson Delgado diseñaron un sistema de control del alumbrado público en la casa Don Bosco, en la misma ciudad. El proyecto se basa en el cambio de las luminarias tradicionales (vapor de sodio a presión) por iluminación LED dentro de la casa y a partir de esto se generó un sistema de control para la red de luminarias. El sistema de control se basa en la utilización de un microcontrolador PIC para el accionamiento y adquisición de datos de las luminarias, la transmisión de datos se realiza mediante módulos XBee serie 2 hacia un concentrador de aquí todos los datos de las luminarias se envían hacia una base alojada en una computadora personal y cuando ocurre un problema el sistema envía un mensaje de texto al operador informando la situación [8].

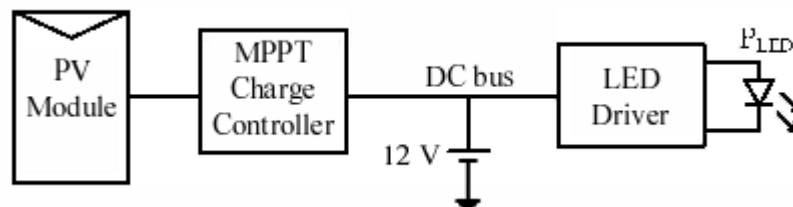


Figura 2.2: Arquitectura del sistema descentralizado de alumbrado público [7]

Pedro Francisco Chantera y Daniel Ricardo Tobar proponen un sistema SCADA para el alumbrado público “ver figura 2.3”. El principal requisito de este sistema es que las luminarias tradicionales de vapor de sodio a presión sean reemplazadas por

luminarias LED para un control eficiente en la potencia suministrada. El sistema SCADA está compuesto de una red Zigbee en malla utilizando módulos XBee serie 2 la cual transmite los datos hacia una base alojada en una computadora personal. Además se cuenta con una interfaz HMI diseñada en LABVIEW desde donde se hace el control ON/OFF [9].

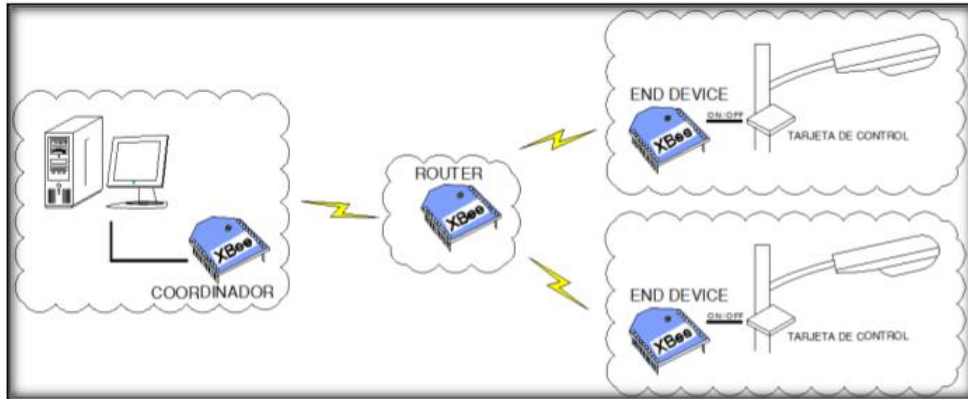


Figura 2.3: Esquema general del sistema SCADA para el alumbrado público [9]

Sumeet Kumar, Ajay Deshpande, Stephen S. Ho, Jason S. Ku y Sanjay E. Sarma presentaron un Sistema de Recogida y análisis de información sobre la infraestructura de alumbrado público, para esto desarrollaron una plataforma de sensores montados en un vehículo que permite la recolección, el registro y el procesamiento de los datos obtenidos de las luminarias de alumbrado público mediante algoritmos de reconocimiento de imágenes para identificar lámparas, niveles de iluminación, altura de las mismas, etc “ver figura 2.4”. Con el objetivo de desarrollar un modelo de iluminación virtual 3D a escala de las calles que permita a los ciudadanos y encargados del servicio evaluar y optimizar el rendimiento de la iluminación de las calles durante la noche [10].

Carlos Luis Vargas Guevara plantea un Sistema de Luminarias para Autopistas Alimentadas con Baterías Recargadas Mediante Paneles Fotovoltaicos, el objetivo es ahorrar energía mediante el cambio de luminosidad de las mismas en función de la presencia de vehículos “ver figura 2.5”. Además, los datos del sistema son recogidos y transmitidos a un servidor mediante una red inalámbrica instalada en el sistema de luminarias mediante módulos XBee. El sistema es monitoreado mediante una interfaz programada en Microsoft visual C++ [11].

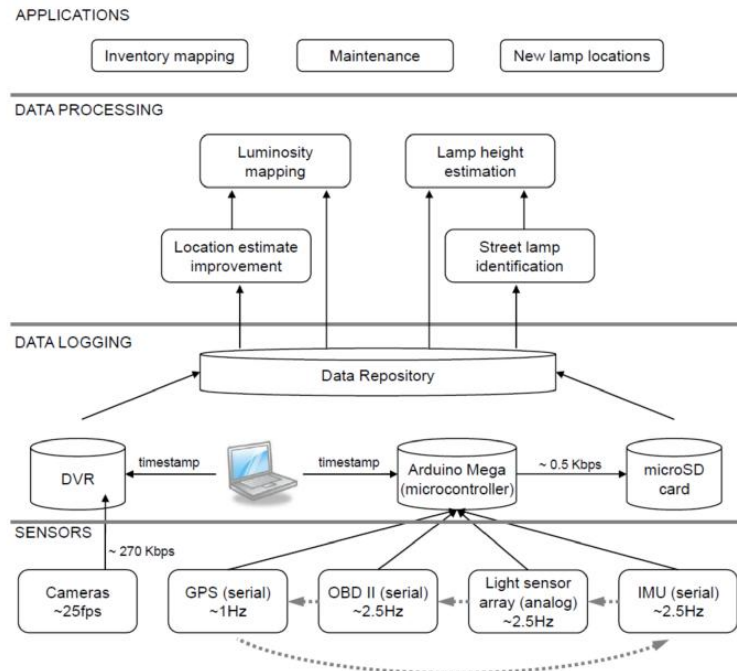


Figura 2.4: Arquitectura del sistema de monitoreo de alumbrado público [10]

José Soto Noboa y Fernando Barrera Rovayo proponen un sistema de gestión del alumbrado público en el campus de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil. El sistema consta de una red inalámbrica de luminarias basada en el estándar IEEE 802.15.4 que permiten el monitoreo en tiempo real de las mismas mediante el software iliPlus comercializado por la empresa Exelec “ ver figura 2.6” [12].

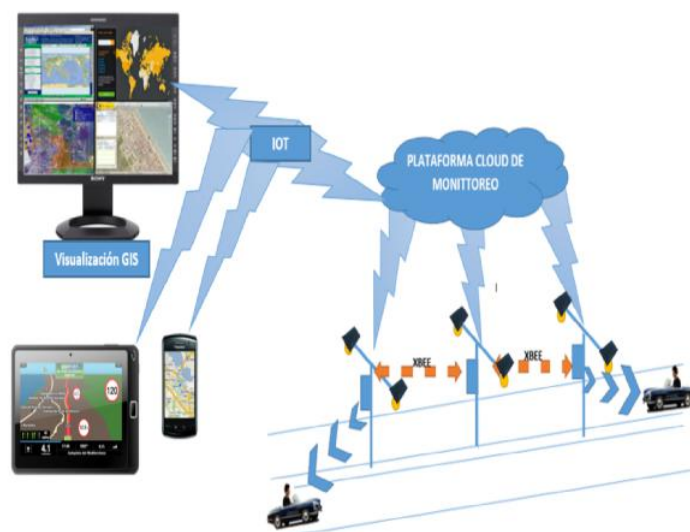


Figura 2.5: Esquema general del control inteligente de iluminación fotovoltaica [11]

Chen-Wei Yang, Evgeny Nefedov, Seppo Sierla, Paul Flikkema hablan acerca de la importancia de la migración de la tecnología de iluminación de calles a LED ya que permite una solución de fácil control y numerosas innovaciones, mencionan que con esta tecnología se puede ahorrar cantidades gigantes de energía y plantean un sistema de control de potencia mediante técnicas de detección de vehículos y peatones basado en la norma IEC 61499 que asegura ese ahorro energético sin perjudicar la seguridad de los usuarios del servicio [13].

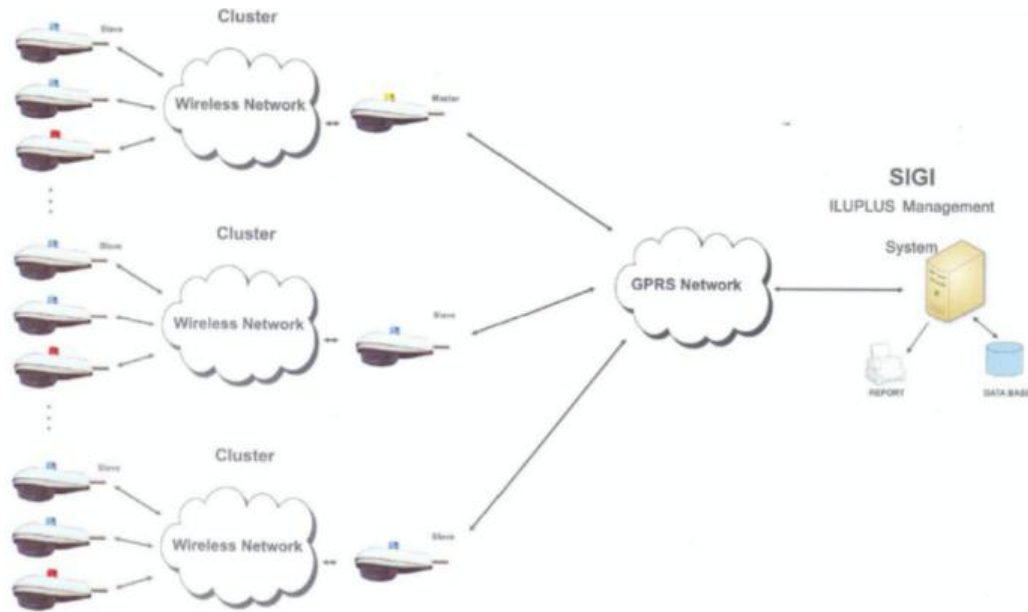


Figura 2.6: Diagrama del sistema propuesto para el ILUPLUS [12]

Pooya Najafi Zanjani, Morteza Bahadori y Mohamm Hashemi proponen un sistema de monitoreo de la red de luminarias de alumbrado público mediante técnicas de procesamiento digital de imágenes donde una cámara toma imágenes de un grupo de luminarias de un sector, esta imagen es guardada y enviada hacia una central donde un computador adquiere la imagen y la procesa en el software Matlab y mediante los resultados del software se pueden detectar problemas en el sistema “ver figura 2.7” [14].

Noriaki Yoshiura, Yusaku Fujii y Naoya Ohta proponen un sistema inteligente de alumbrado público mediante una red de sensores que permita al sistema encender las luminarias cuando sea necesario y apagarlas en caso contrario. Se trata de un sistema de bajo costo, fácil migración y con autodiagnóstico que permitirá a las empresas ahorrar enormes cantidades de energía y detectar los problemas presentados en las luminarias gracias a la red de comunicación de corta distancia [15].

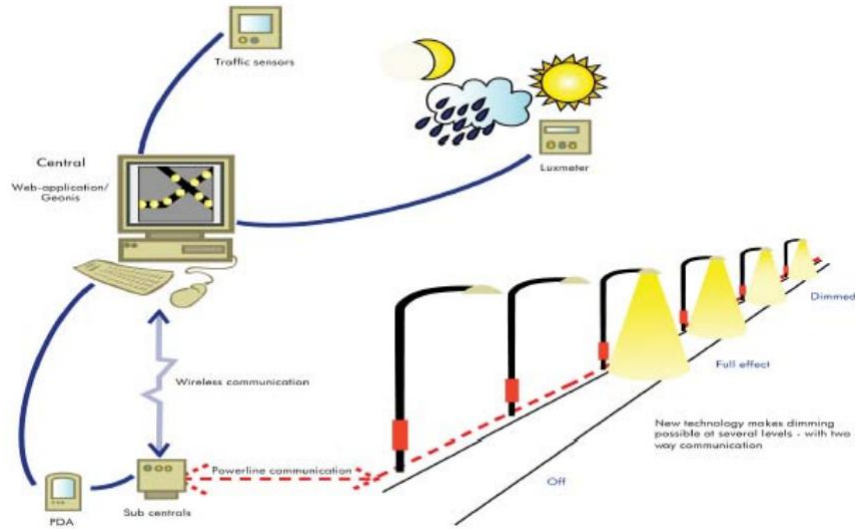


Figura 2.7: Arquitectura de la red de monitoreo de alumbrado público [14]

Bidhan Chandra Mishra, Avipsa S. Panda, N. K. Rout y Sumant Kumar Mohapatra presentaron un sistema de gestión de los sistemas de alumbrado público mediante dispositivos inalámbricos basados en ZigBee, una combinación de sensores para controlar y monitorear los parámetros del sistema. Un entorno de vigilancia basado en la tecnología de Internet de las cosas con el fin de satisfacer la Mayoría de las demandas de las aplicaciones de Internet de las cosas, los efectos del acceso en línea, el control y la gestión del alumbrado público mediante un navegador Web estándar a través de Internet [17].

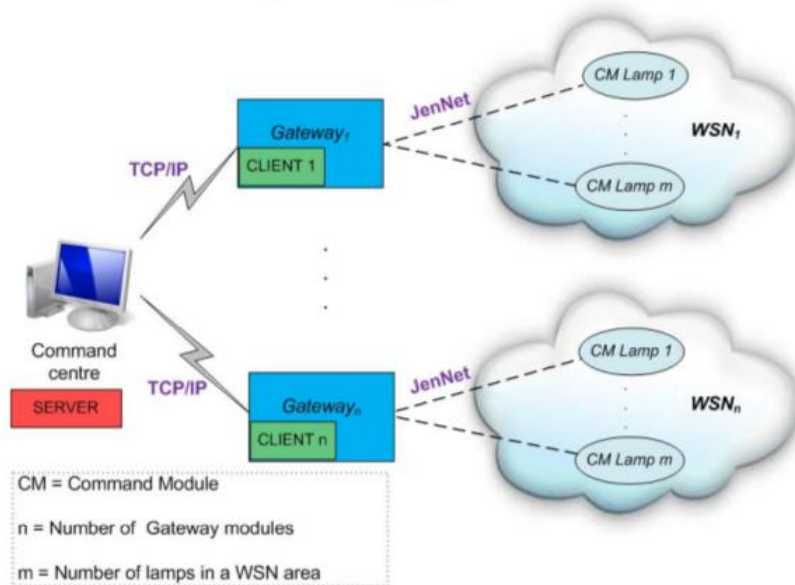


Figura 2.8: Escenario de control de las luminarias de alumbrado público [16]



Alexandru Lavric, Valentin Popa y Stefan Sfichi presentaron un sistema basado en una red WSN a gran escala que permite el control remoto de las lámparas de alumbrado público. El sistema también permite un ahorro en términos de los costos de energía y mantenimiento eléctrico. La arquitectura utiliza sensores Doppler integrados que permite la detección de vehículos y peatones para controlar la intensidad de luz de las lámparas a un nivel predeterminado, a fin de no afectar a la seguridad del tráfico por carretera. Por otra parte, el sistema utiliza sensores de corriente con el fin de permitir la identificación de cualquier avería “ver figura 2.8” y así facilitar el proceso de mantenimiento [16].

## 2.2. Fundamentación teórica

### 2.2.1. Alumbrado Público

Es un servicio que consiste en la iluminación artificial de vías públicas, parques públicos y demás espacios de libre circulación “ ver figura 2.9” la cual no se encuentra a cargo de ninguna persona natural o jurídica de derecho privado o público. El objetivo de este servicio es proporcionar la visibilidad adecuada para el normal desarrollo de actividades en horas nocturnas [19, 20].



Figura 2.9: Distribución del alumbrado público de un sector [20].

Un sistema de alumbrado público debe proporcionar confiabilidad de la percepción y la comodidad visual, aplicando la cantidad y calidad de la luz sobre el área observada acorde con el trabajo visual requerido. Así, para cumplir estos requerimientos, se debe utilizar una fuente luminaria apropiada teniendo en cuenta su fotometría, de tal forma que se logre una iluminación con las mejores

interdistancias, las menores alturas de montaje y la menor potencia eléctrica posible.[19]

## Lámparas

Las lámparas utilizadas en el alumbrado público deben poseer ciertas características que permitan obtener un ahorro energético y económico debido al número de las mismas instaladas. Estas características se presentan a continuación:

### Intensidad luminosa (reproducción cromática):

Las lámparas utilizadas deben adaptarse a las necesidades de uso. La demanda lumínica de lugares turísticos no es la misma que en sectores únicamente de tráfico, por lo que las necesidades de intensidad y tipo de luz en estos emplazamientos no es la misma. Tener presente estas diferencias debe permitir reducir la demanda energética total y optimizar la potencia instalada [21].

### Eficacia de las lámparas:

No todos los tipos de lámparas presentan el mismo rendimiento energético. Hacer una correcta selección de las lámparas, teniendo en cuenta el rendimiento (lumen/W), puede derivar en un ahorro energético importante [21].

Tabla 2.1: Eficacia de focos utilizados en alumbrado público [22].

Tipo de Luminaria	Eficacia (Lm/W)
Fluorescentes	38 - 91
Luz de Mezcla	19 -28
Mercurio a Alta Presión	40 - 63
Halogenuros Metálicos	75 - 95
Sodio a Baja Presión	100 - 183
Sodio a Alta Presión	70 - 130
LED	80 - 160

### Zonificación:

Establecer cuál es el área que se necesita iluminar permite optimizar las potencias de las lámparas y, por lo tanto, reducir el consumo [21].

### Duración de la vida económica:

Las lámparas presentan una reducción del rendimiento con el tiempo (lumen/potencia). Tener presente esta variación de propiedades y establecer un óptimo control en la sustitución de lámparas debe permitir un mejor rendimiento del sistema lumínico [21].

Tabla 2.2: Vida útil promedio de lámparas utilizadas en alumbrado público [22].

Tipo de Luminaria	Vida Útil (Horas)
Fluorescentes	12500
Luz de Mezcla	9000
Mercurio a Alta Presión	25000
Halogenuros Metálicos	11000
Sodio a Baja Presión	23000
Sodio a Alta Presión	23000
LED	50000

La Mayoría de lámparas utilizadas en alumbrado público utilizan un sistema de descarga eléctrica en un gas, generalmente lámparas de mercurio o sodio con rendimientos inferiores a otras opciones que se encuentran en el mercado. Los sistemas de descarga consisten en dos electrodos que generan un flujo de electrones por medio de un gas; la excitación de los átomos del gas permite generar luz, cuyas características están en función de la lámpara utilizada [21, 22]. Para que las lámparas de descarga funcionen correctamente es necesario, en la Mayoría de los casos, la presencia de unos elementos auxiliares:

- Los cebadores o ignitores son dispositivos que suministran un breve pico de voltaje entre los electrodos del tubo, necesario para iniciar la descarga y vencer así la resistencia inicial del gas a la corriente eléctrica. Tras el encendido, continua un periodo transitorio durante el cual el gas se estabiliza y que se caracteriza por un consumo de potencia superior al nominal [22].
- Los balastos, son dispositivos que sirven para limitar la corriente que atraviesa la lámpara y evitar así un exceso de electrones circulando por el gas que aumentaría el valor de la corriente hasta producir la destrucción de la lámpara [22].

Además de las lámparas de descarga, en los últimos años se esta utilizando luminarias con tecnología de iluminación LED debido a varias ventajas como:

- La tecnología LED no utiliza componentes tóxicos y combate contra la contaminación medioambiental. Al contrario que las energías tradicionales que además de utilizar componentes altamente tóxicos, producen un desperdicio de energía.
- Larga vida útil (ver tabla 2.2).
- Emisión luminosa: poseen una situación privilegiada frente a las lámparas tradicionales.
- Calidad de luz.

### 2.2.2. sistemas de Telegestión del Alumbrado Público

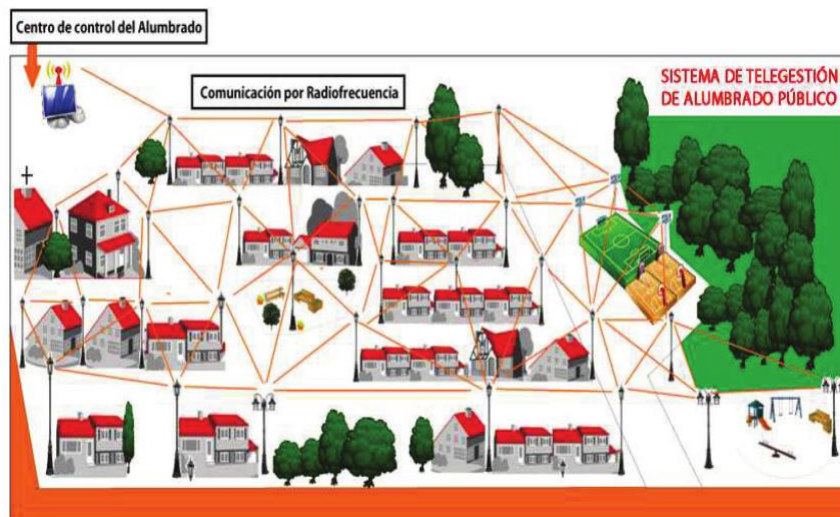


Figura 2.10: Sistema de Telegestión del Alumbrado público [3]

Los sistemas de Telegestión del Alumbrado público son herramientas de última tecnología que permiten al administrador la gestión, el control y la supervisión de las redes de alumbrado público. Estos sistemas de Comunicaciones Electrónicas permiten monitorear y controlar en tiempo real y de manera individual cada uno de los componentes de la red de alumbrado, explotando al máximo sus parámetros operativos, cuyo objetivo es el de obtener un ahorro energético, un mejor aprovechamiento de las estructuras e instalaciones y brindando a la sociedad un mejor servicio y garantizando calidad en el mismo [3].

Los sistemas de monitoreo y Control proporcionan información actualizada y en tiempo real a los operarios sobre el estado de la red de alumbrado público que les permite tomar decisiones acertadas para mejorarla o mantenerla. Además, estos sistemas propician un ahorro energético de hasta un 50 % de la energía destinada al servicio de alumbrado público lo que proporciona que se recuperen las inversiones en muy poco tiempo y haciendo que esta energía se utilice en otras aplicaciones y no tener que recurrir a la compra de la misma a otros países para abastecer la demanda existente [3, 6, 7].

Los sistemas de Telegestión de Alumbrado público presentan ventajas que benefician tanto a los proveedores del servicio como a los usuarios, algunas de estas se listan a continuación:

- Reducción del coste energético, mediante el control de potencia suministrado a cada una de las luminarias y el apagado correspondiente cuando no son necesarias.
- Reducción de costes de mantenimiento.
- Creación de infraestructuras expansibles.
- Total compatibilidad con las tecnologías Smart Cities/Internet of Things.
- Aumento de la vida útil de las luminarias.

Para ejecutar la telegestión del alumbrado público existen tecnologías tanto cableadas como inalámbricas y depende de la forma en que se diseñe la red de comunicación entre cada una de las lámparas y el servidor, las más utilizadas en estos sistemas son:

### Power Line Communication PLC

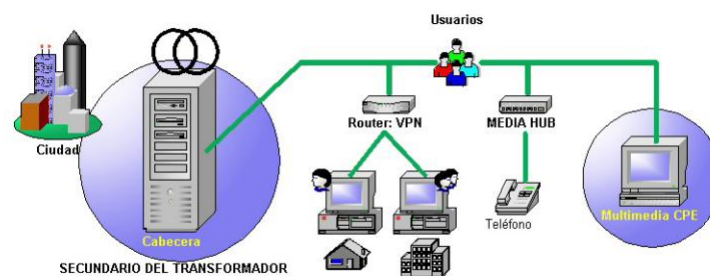


Figura 2.11: Esquema de funcionamiento de Powerline [18]

La instalación y la configuración de los equipos así como el ruido electromagnético presente en las redes eléctricas suelen ser un problema que dificulta la puesta en marcha del sistema. Ofrece una ayuda y provee a la gestión diaria de los servicios de mantenimiento, al carecer del monitoreo punto a punto, el personal de operación y mantenimiento posee un sistema que no permite visualizar de manera efectiva el estado del sistema monitoreado. Algunos de estos sistemas funcionan correctamente pero con ciertas luminarias específicas [3].

Esta red alámbrica basa su funcionamiento en el principio maestro-esclavo, es una solución sencilla, de bajo costo y de fácil instalación, la caída de un nodo no afecta el funcionamiento de los demás siempre y cuando este nodo no sea el del maestro. La desventaja radica en el alto costo de implementación de la red de transporte y la Mayor gestión que requiere por parte del personal [3, 18].

### Redes Inalámbricas en Malla

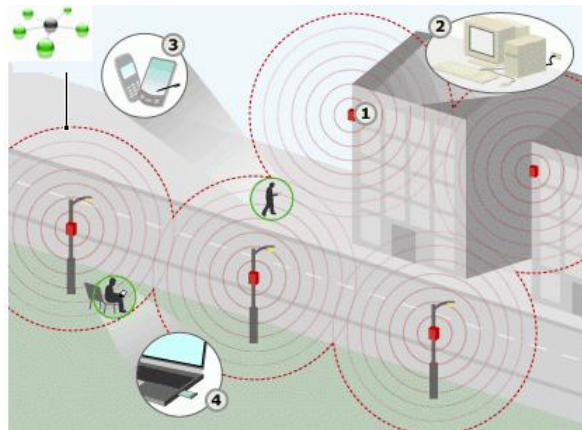


Figura 2.12: Red inalámbrica tipo malla [23]

Presenta una cobertura de rango extendido y rutas alternativas en caso de fallar algún nodo de la red. La desventaja que presenta son los retardos de información debido a los numerosos saltos que tiene que dar los paquetes para llegar a su destino, esto también provoca que la probabilidad de que se produzcan errores en la comunicación aumente [3, 23].

### Redes Inalámbricas Punto-Multipunto

El sistema presenta una cobertura de largo alcance a muy bajo costo y con una modesta instalación ideal para zonas de baja densidad de luminarias. La desventaja

que presenta este sistema es que el equipo colector es muy costoso y complejo, los daños suelen ser un dolor de cabeza para los operarios [3, 24].

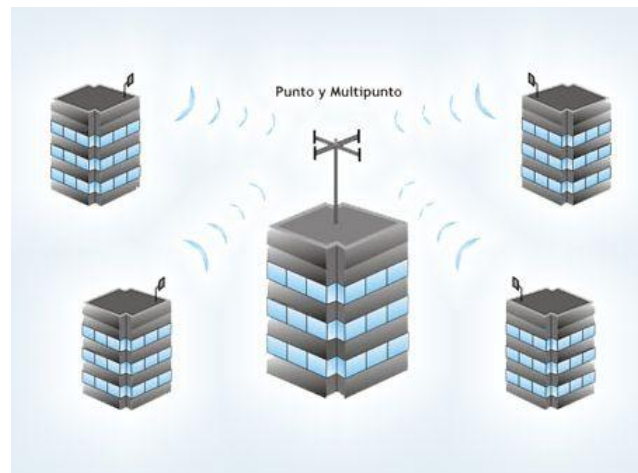


Figura 2.13: Red inalámbrica punto-multipunto [24]

### 2.2.3. Redes de Sensores Inalámbricos (WSN)



Figura 2.14: Arquitectura de una red de sensores inalámbricos

Una red de sensores inalámbricos (WSN) es una red inalámbrica que consiste en dispositivos distribuidos espaciados autónomos compuestos de sensores para adquirir los datos del ambiente, un microcontrolador que procesa los datos adquiridos por los sensores, un transreceptor que proporciona comunicación bidireccional hacia otros elementos de la red, una memoria y una batería para proporcionar energía al nodo. Se utilizan para monitorear condiciones físicas o ambientales. Un sistema WSN incorpora un gateway que provee conectividad inalámbrica de regreso al mundo de

cables y nodos distribuidos (vea Figura 3). El protocolo inalámbrico que se selecciona depende en los requerimientos de la aplicación. Algunos de los estándares disponibles incluyen radios de 2.4 GHz basados en los estándares IEEE 802.15.4 o IEEE 802.11 o radios propietarios, los cuales son regularmente de 900 Mhz [25].

## **Aplicaciones**

Se han creado aplicaciones WSN para diferentes áreas incluyendo cuidado de la salud, servicios básicos y monitoreo remoto. En el cuidado de la salud, los dispositivos inalámbricos vuelven menos invasivo el monitoreo a pacientes. Para servicios básicos como electricidad, alumbrado público y ayuntamientos de agua, los sensores inalámbricos ofrecen un método de bajo costo para un sistema de recolección de datos saludable que ayuden a reducir el uso de energía y mejor manejo de recursos. El monitoreo remoto cubre un amplio rango de aplicaciones donde los sistemas inalámbricos pueden complementar sistemas de cable reduciendo costos de cableado y permitiendo nuevos tipos de aplicaciones de medición [25]. Aplicaciones de monitoreo remoto incluyen:

- Monitoreo ambiental de aire, agua y suelo
- Monitoreo estructural para edificios y puentes
- Monitoreo industrial de maquinas
- Monitoreo de procesos
- Seguimiento de activos

### **2.2.4. Eficiencia Energética y Ahorro Energético**

La Eficiencia Energética en la actualidad, es la preocupación por el medio ambiente lo que genera la necesidad de ahorrar energía y evitar que toneladas de contaminantes se arrojen a la atmósfera. Mejorar la eficiencia energética en las instalaciones de alumbrado público esta normalmente relacionado con el cambio de la fuente de luz, pero esto no significa que una fuente de luz consuma menos que otra sino en la forma en que ilumina y la superficie máxima que ilumina lo que hace que se requiere más o menos luminarias entre una tecnología u otra y de aquí se obtiene el ahorro energético del sistema [3].

El ahorro energético es la práctica de reducir la cantidad de energía utilizada para una actividad en particular sin poner en riesgo los resultados. De acuerdo con muchas



organizaciones como la Agencia Francesa para la Gestión de la Energía (ADEME) o CLER, la eficiencia energética debería ser una parte esencial de toda política de energías renovables [3, 26].

La gestión de la energía combina el uso de muchas técnicas de eficiencia energética con el objetivo de reducir el consumo de energía, para obtener un ahorro económico y reducir el impacto medioambiental. Algunas veces se le denomina uso racional de la energía (URE). Los lemas de los que practican la eficiencia energética es “reducir, reutilizar y reciclar”, y “la energía más barata es la que no consumimos” [26].

### 2.2.5. Propagación de ondas electromagnéticas en ambientes abiertos y cerrados

La propagación de señales en interiores y exteriores es un acontecimiento complejo. Estos entornos afectan la comunicación de manera significativa debido a la gran cantidad de obstáculos entre el transmisor y el receptor y al dinamismo de la señal, produciendo fenómenos como la refracción, la reflexión y dispersión, esto genera trayectorias multicamino (fenómeno causante del desvanecimiento de la señal)[27].

### Interferencias en la banda de 2.4 GHz

Los dispositivos que trabajan en la banda de 2.4 - 2.483 GHz son susceptibles de recibir interferencias producidas por otros dispositivos que transmiten en la misma banda debido al uso extendido de la misma en varias tecnologías como wifi, Bluetooth. A esta banda se la denomina ISM, caracterizada por operar en un espectro de radio donde no se necesita una licencia para operar y permitir la creación de todo tipo de redes tanto digitales como analógicas . [27, 31].

Existen tres desventajas principales del uso de la banda libre:

- Interferencias producidas por otros dispositivos que transmiten en esta banda como Bluetooth, WiMax, Wi-Fi o teléfonos inalámbricos.

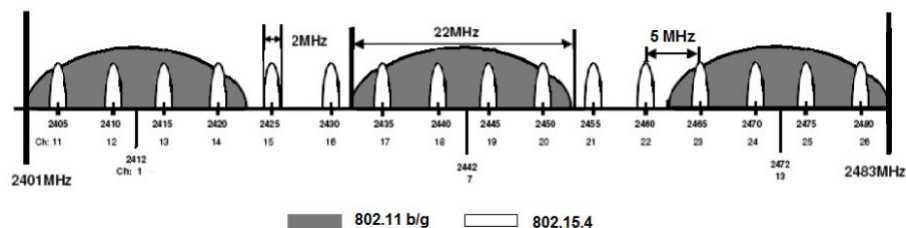


Figura 2.15: Ocupación de la banda de 2,4 GHz según IEEE 802.15.4 y 802.11b/g.

- Generalmente, la potencia que puede transmitirse está limitada por los organismos reguladores del gobierno y entidades internacionales que rigen el uso de esta banda.

Las bandas de frecuencia licenciadas permiten transmitir información libre de interferencias, pero la razón por la cual la Mayoría de empresas o personas se alejan del uso de estas frecuencias es por su elevado coste.

## Modelos de Propagación

Los modelos de propagación permiten obtener predicciones sobre el comportamiento de las ondas electromagnéticas en el espacio libre, lo que facilita el diseño de sistemas de comunicaciones. La figura 2.16 muestra un estudio del comportamiento de una señal electromagnética analizada con diferentes modelos de propagación. En este estudio se utilizó parámetros comerciales para el análisis. 0 dBm(1mW) para la potencia, 2.4 GHz para la frecuencia y -85 dBm de sensibilidad del receptor [27].

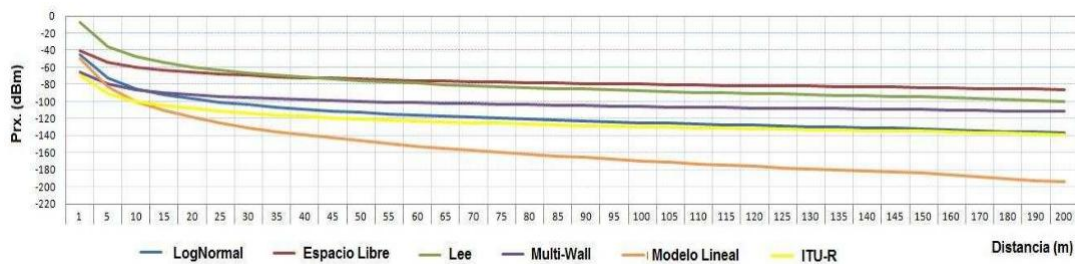


Figura 2.16: Potencia recibida teórica de los modelos de propagación [27].

## Pérdidas por espacio libre

El modelo de pérdidas por espacio libre que muestra la gráfica 2.16, sirve como referencia para el desarrollo de los demás modelos de propagación, este modelo obtiene los valores de potencia recibida analizando la frecuencia de transmisión y la distancia existente entre el emisor y el receptor [27].

$$Prx = 32,45 + 20\log(f) + 20\log(d) \quad (2.1)$$

Donde:

$Prx$  = Potencia recibida en dB.

$f$  = Frecuencia de la portadora en MHz.

$d$  = Distancia entre el transmisor y el receptor en Km.

## Log-normal

Es un modelo empírico basado en una referencia de las pérdidas a una distancia preestablecida, y aplicable en entornos cerrados mediante factores de corrección [27]. Se expresa en una ecuación en función de la distancia entre transmisor y receptor como:

$$PL(d) = PL(d_0) + 10n \log\left(\frac{d}{d_0}\right) + X_\sigma \quad (2.2)$$

$PL(d)$  = Pérdidas a cualquier distancia en [dB].

$PL(d_0)$  = Pérdidas de referencia en [dB].

$n$  = Coeficiente de pérdidas varia de 1 a 4 en función del ambiente [*adimensional*].

$d$  = Distancia entre el transmisor y el receptor en [m].

$X_\sigma$  = Variable aleatoria con distribución normal en [dB].

## Multi-Wall

El modelo Multi-Wall se utiliza para estudiar entornos domésticos o de oficinas, en los que aparecen varios obstáculos como suelos o paredes que producen atenuaciones de hasta 4 dB y 3 dB, respectivamente [27]. Se expresa como:

$$PL(d) = PL(d_0) + 20 \log(d) + n_s * att_s + n_p * att_p \quad (2.3)$$

$PL(d)$  = Pérdidas a cualquier distancia en [dB].

$PL(d_0)$  = Pérdidas de referencia en [dB].

$n_s$  = número de pisos que atraviesa la señal [*adimensional*].

$att_s$  = Atenuación promedio del piso en [dB].

$n_p$  = número de paredes que atraviesa la señal [*adimensional*].

$att_p$  = Atenuación promedio de la pared en [dB].

$d$  = Distancia entre el transmisor y el receptor en [Km].

## Lee

El modelo de Lee es un modelo punto a punto que predice las pérdidas de la señal por trayectoria. Este modelo considera ciertos parámetros que afectan a la señal en la trayectoria de propagación, tales como la densidad de árboles, difracciones que se originan debido a uno o varios obstáculos que existen en la zona y la altura a la que se encuentran el emisor y el receptor. Además se consideran casos para obtener la potencia recibida tanto para LOS como para NLOS. Como sucede en el modelo de espacio libre, las pérdidas variarán en función de la frecuencia y la distancia [27].

$$PL = 40\log(d) + 20\log(f) - 20\log(h_t * h_r) \quad (2.4)$$

Donde:

$PL$  = Pérdidas de la señal en  $[dB]$ .

$d$  = Distancia entre el transmisor y el receptor en  $[m]$ .

$f$  = Frecuencia de la portadora en  $[MHz]$ .

$h_t$  = Altura del transmisor en  $[m]$ .

$h_r$  = Altura del receptor en  $[m]$ .

## Lineal

La representación del modelo lineal se obtiene a partir de las pérdidas en espacio libre, más un factor de atenuación lineal obtenido experimentalmente[27].

$$PL(d) = PL_{fs} + a * d \quad (2.5)$$

Donde:

$PL(d)$  = Pérdidas de la señal a cualquier distancia en  $[dB]$ .

$PL_{fs}$  = Pérdidas de referencia en  $[dB]$ .

$a$  = Coeficiente de atenuación lineal en función del ambiente en  $[dB/Km]$ .

$d$  = Distancia entre el transmisor y el receptor en  $[Km]$ .

## Modelo ITU-R

La Recomendación ITU-R P.1411 provee una serie de directivas sobre propagación en exteriores para sistemas de radiocomunicaciones de corto alcance, en el rango de frecuencias de 300 MHz a 100 GHz, para trayectos LOS y NLOS en una variedad de entornos. El modelo de estimación de pérdidas se basa en las directivas de la Sección 4.2.1 de la Recomendación P.1411, y está definido para trayectos NLOS, tanto en entornos urbanos como suburbanos. El tamaño máximo considerado para una celda es de 1 km y el mínimo de 0.02 km. Se trata de un modelo semi-empírico basado en el modelo COST 231 y mejorado por el UIT-R [27]. Se expresa como:

$$PL = 20\log(f) + 10n\log(r) + L_f(n_p) - 28 \quad (2.6)$$

$PL$  = pérdidas de la señal en  $[dB]$ .

$f$  = Frecuencia de la portadora en  $[MHz]$ .

$n$  = Coeficiente de pérdidas en función del ambiente  $[adimensional]$ .

$r$  = Radio de cobertura de la celda en  $[Km]$ .

$L_{f(np)}$  = pérdidas estimadas de las paredes que atraviesa la señal en [dB].

En la tabla 2.3, se muestran las coberturas máximas de un nodo que trabaja en la banda de 2.4 GHz según los modelos de propagación utilizados en interiores o exteriores. En el modelo Log-normal se puede observar que a Mayor coeficiente de pérdidas (n), menor distancia de cobertura.

Tabla 2.3: Radio máximo de cobertura en dispositivos de la banda de 2.4Ghz [27].

Modelo	Ptx (dBm)	Log - Normal			Lee	Espacio Libre	Multi - Wall	Linear	ITU - R
		n=2	n=3	n=4					
2.4 GHz, -85 dBm	-3	71	18	9	72	125	7	5	2.6
	0	100	22	10	86	177	9	5.6	3.2
	3	142	27	12	102	251	13	6.3	4

### 2.2.6. Plataformas de Hardware Libre

El término hardware libre se ha usado principalmente para reflejar el uso del software libre con el hardware y el lanzamiento libre de la información con respecto al dispositivo, a menudo incluyendo diagramas esquemáticos, diseños, tamaños, distribución de los elementos en la tarjeta electrónica y otra información acerca del mismo [28].

#### Ventajas del Hardware Libre

- Independencia tecnológica, los usuarios no dependen de terceros que proveen recursos necesarios para su desarrollo.
- Favorece la calidad del hardware, a los estándares abiertos y que sean más económicos.
- El trabajo colaborativo sobre los diseños permite la reutilización y la adaptación de los mismos.
- Disminuye los costos y tiempos de diseño en sus trabajos.
- Se libera a los productores de los propietarios de alianzas globales.

#### Desventajas del Hardware Libre

- Los diseños son específicos y únicos, dificultando su reproducción.

- La reproducción implica la prueba de los componentes, luego la fabricación del dispositivo, lo que eleva los costos.
- La disponibilidad de los chips no es la misma en todos los países.
- La fabricación de hardware lleva implícito infraestructura de diseño, simulación, producción e implementación, al contrario de lo que se da en el software libre.

## Arduino

Arduino es una plataforma de electrónica de código abierto cuyos principios son contar con software y hardware fáciles de usar. Permite realizar proyectos interactivos de manera sencilla tanto a nivel de software como de hardware, cuya diferencia con otras placas y microcontroladores radica en que los entornos de desarrollo, lenguaje de programación de Arduino y las placas en las que se ejecutan han sido desarrollados de la mano, por lo que asegura la compatibilidad y la sencillez del manejo de ellas.[28, 29]



Figura 2.17: Tarjetas electrónicas de código abierto Arduino [28].

Arduino consiste en una placa con un microcontrolador y una serie de puertos de entrada y salida. Los microcontroladores AVR más usados son el Atmega168, Atmega328, Atmega1280, y Atmega8 por su sencillez y bajo coste que permiten el desarrollo de múltiples diseños, aunque también existen microcontroladores CortexM3 de ARM de 32 bits, ARM y AVR son plataformas diferentes, pero los programas se compilan y luego se ejecutan sin cambios en cualquiera de las plataformas [29].

## Raspberry pi

Es un computador de placa reducida (SBC), de bajo coste desarrollado en Reino Unido por la Fundación Raspberry Pi, con el objetivo de estimular la enseñanza de

ciencias de la computación en las escuelas. Apareció en el año 2012. bajo el abrigo de la “Raspberry Pi Foundation” la cual, es una organización sin ánimo de lucro que recibe apoyos del laboratorio de informática de la Universidad de Cambridge y de Broadcom [28, 30].

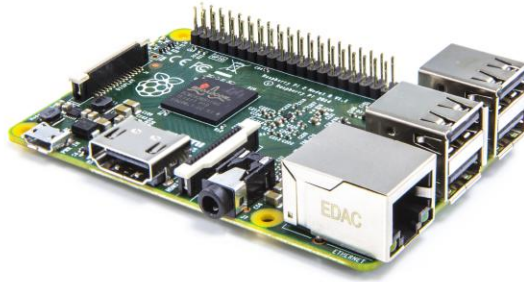


Figura 2.18: Minicomputador Raspberry Pi [30].

Su núcleo está basado en un chip integrado Broadcom BCM2835, que contiene un procesador ARM11 con varias frecuencias de funcionamiento y la posibilidad de subirla (overclocking) hasta 1 GHz sin perder la garantía, un procesador gráfico VideoCore IV, y distintas cantidades de memoria RAM. Las últimas Raspberry Pi cuentan con 4Gb de memoria [30].

Todo ello equivale en la práctica a un ordenador con unas capacidades gráficas similares a la XBOX de Microsoft y con la posibilidad de reproducir vídeo en 1080p. En la placa nos encontramos además con una salida de vídeo y audio a través de un conector HDMI, con lo que conseguiremos conectar la tarjeta tanto a televisores como a monitores que cuenten con dicha conexión. En cuanto a vídeo se refiere, también cuenta con una salida de vídeo compuesto y una salida de audio a través de un minijack. Posee una conexión ethernet 10/100 y Wi-Fi en las últimas versiones [30].

De esta forma se tiene la posibilidad de minimizar el espacio que se necesita para tener todo un ordenador en un volumen mínimo. Algunas de las distribuciones recomendadas son Raspbian derivada de Debian, Jessie (otra distro de Debian), Arch Linux y RISC OS. También se está trabajando en la posibilidad de utilizar Android como sistema operativo [30].

### 2.2.7. Transreceptor NRF24L01

Este módulo usa un nuevo transceptor de la compañía Nordic Semiconductor, el nRF24L01+ e incorpora adicionalmente extra pipelines, buffers, y un modo de auto retransmisión. El módulo utiliza 8 pines para su interfaz externa y funciona con el estándar de comunicación SPI [32, 33].

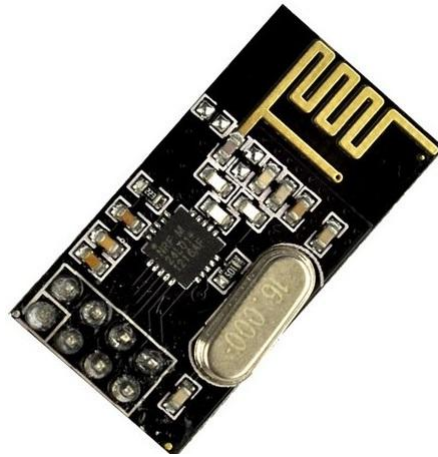


Figura 2.19: Transreceptor NRF24L01

#### Características:

- Operación en la banda ISM 2.4Ghz “ver tabla 2.4”.
- Velocidad de transmisión programable 250kbps, 1Mbps y 2Mbps “ver tabla 2.4”.

Tabla 2.4: Características generales de frecuencia del chip NRF24L01 [34] .

Parámetro	Min.	Max.	Unidades
Frecuencia de Operación	2400	2525	MHz
Resolución PLL			MHz
Frecuencia del cristal			MHz
Desviación de frecuencia a 250kbps			KHz
Desviación de frecuencia a 1Mbps			KHz
Desviación de frecuencia a 2Mbps			KHz
Velocidad de datos en el aire	250	2000	kbps
Espaciamiento de canal 250kbps a 1Mbps			MHz
Espaciamiento de canal 2Mbps			MHz



- Baja potencia de operación “ver tabla 2.5”.
- Voltaje de alimentación desde 1.9 a 3.6V.

Tabla 2.5: Consumo de corriente para los diversos estados del NRF24L01 [34].

Parámetro	Valor	Unidades
Intensidad en modo sleep	900	nA
Intensidad en modo reposo 1	26	uA
Intensidad en modo reposo 2	320	uA
Intensidad en modo Tx (0dBm)	11.3	mA
Intensidad en modo Rx a 2Mbps	13.5	mA
Intensidad en modo Rx a 1Mbps	13.1	mA
Intensidad en modo Rx a 250Kbps	12.6	mA

- ShockBurst mejorado.
- Retransmisión automática de paquetes.
- Compatible con nRF24L01+.
- En espacio libre compatible con nRF2401A, nRF2402, nRF24E1 y nRF24E2 a velocidades de 250kbps y 1Mbps.
- Bajo costo.
- $\pm 60$ ppm con cristal de 16MHz.
- Entradas tolerantes a 5V.
- Compacto 20-pines 4x4mm con empaquetado QFN.

### Aplicaciones

- Periféricos de PC inalámbricos.
- Mandos a distancia.
- Centros multimedia avanzados.
- Auriculares VoIP.
- Relojes deportivos con sensores.

- Controles de Videojuegos.
- Controles remotos RF para dispositivos electrónicos de consumo.
- Automatización domestica y comercial.
- Redes de sensores de ultra baja potencia.
- RFID activo.
- Juguetes.

### 2.2.8. Servidores LAMP

Linux, Apache, MySQL y PHP, forman la infraestructura en el servidor LAMP “ver figura 2.20”, que hace posible la creación y el alojamiento de páginas web estáticas, dinámicas y embebidas. Los componentes individuales se acumulan unos sobre otros, por lo que esta plataforma también recibe el nombre de LAMP stack (apilar) [35].



Figura 2.20: Componentes de un servidor LAMP [35].

Su funcionamiento inicia con Linux como sistema operativo base para ejecutar el servidor web Apache. Este último no puede interpretar contenidos dinámicos, pero es aquí donde PHP entra a ejercer sus funciones de programación del lado del servidor. El proceso funciona entonces de la siguiente manera: Apache le envía un código fuente al intérprete PHP, incluyendo la información correspondiente sobre las acciones del visitante de la web, y permite el acceso a la base de datos MySQL. El resultado es devuelto a Apache y este se muestra finalmente en el navegador web del visitante [35, 36].

Un servidor LAMP es la opción preferida por muchos por sus bajo coste y su alta disponibilidad. Además, sus componentes individuales pueden ser reemplazados

fácilmente por aquellos con las mismas funciones. Como sistema operativo se puede usar, por ejemplo, Windows (WAMP) o MacOS (MAMP). En vez de Apache, es común utilizar nginx como servidor web y en cuanto a gestor de bases de datos, MySQL y MariaDB son muy similares. Otros lenguajes de programación compatibles son Perl, Ruby o Python [35].

## **GNU/Linux**

Es un sistema operativo basado en Software Libre inicialmente creado por Linus Torvalds en 1991 como un proyecto de tesis [36]; el sistema proporciona 4 libertades de uso que son:

- Libertad de uso.
- Libertad de redistribución.
- Libertad de modificación.
- Libertad de redistribución de las modificaciones.

GNU/Linux no comparte origen ni diseño con ningún Unix, pero sí su filosofía de diseño ( Minix ), sus distribuciones son una recopilación de un kernel de Linux y un conjunto de aplicaciones disponibles en el mundo del Software Libre. Ejemplos: Debian, Red-Hat (Fedora), Mandriva, Suse, Ubuntu, etc [36].

## **Apache**

Potente y flexible servidor web usado en más del 68 % de todos los servidores web el cual es altamente configurable y extensible a través de módulos; esta diseñado para ejecutarse en la Mayoría de plataformas como Windows, Netware, OS/2, Unix, Linux, etc [36].

## **PHP**

Es un lenguaje de propósito no general de código abierto interpretado de alto nivel y que puede ser embebido en páginas web HTML. Es un lenguaje ejecutado en el servidor compatible con varios sistemas operativos como Linux, Unix, Windows, Mac OS; servidores web como Apache, IIS, Netscape; compatible con gran número de bases de datos como dBase, Informix, MySQL, Oracle, PostgreSQL, Sybase, ODBC, Interbase, Adabas D y soporta muchos protocolos como LDAP, IMAP, SNMP, NNTP , POP3, HTTP y muchos otros [36].

## MySQL

Servidor de bases de datos relacionales de código abierto cuya filosofía es ser un servidor rápido, seguro, fácil de usar, accesible desde un gran número de lenguajes de programación y capacidad de replicación [36].

### **2.3. Propuesta de Solución**

Un sistema de monitoreo y control del alumbrado público permitirá dar mantenimiento preventivo y correctivo al sistema de forma rápida y eficiente para brindar un servicio de calidad a la ciudadanía y obtener un ahorro energético.

## **CAPÍTULO III**

### **METODOLOGÍA**

#### **Tipo de investigación**

En el desarrollo del proyecto se utilizó investigación aplicada para conocer las vulnerabilidades del sistema de iluminación pública actual así como los modelos de propagación en redes de sensores que permitieron proponer una solución basada en tecnologías de última generación.

#### **Investigación Bibliográfica**

Debido a la búsqueda información sobre el tema central, donde se determinó los principales parámetros técnicos del alumbrado público y las variables que fueron monitorizadas, a partir de artículos científicos, libros y repositorios públicos disponibles en Internet

#### **Investigación de campo**

Por la naturaleza del proyecto, fue necesario la recolección de información relacionada a la situación actual de las instalaciones de alumbrado público, periodos de mantenimiento, costos de mantenimiento y tecnologías de iluminación utilizada.

#### **Investigación Experimental**

La investigación proporcionó datos fiables que ayudó al diseño de la red de sensores así como la implementación del sistema de monitoreo remoto, esto determinó la solución del problema central.

#### **3.1. Población y muestra**

Por la característica de la investigación, no se requiere población y muestra.

### **3.2. Recolección de información**

La información procesada, fue obtenida de fuentes digitales como repositorios públicos, libros alojados en bibliotecas virtuales, artículos almacenados en bases de datos así mismo se obtuvo información referente a costos de alumbrado público y periodos de mantenimiento en la empresa CNEL EP Unidad de Negocios Bolívar.

### **3.3. Procesamiento y análisis de datos**

Una vez aplicado los instrumentos se analizó la validez de la información y se presentó los resultados mediante gráficos estadísticos apropiados los cuales muestran el estado actual del servicio y cuáles son los problemas que se presentan en estas instalaciones. Se ejecutó un análisis integral en base a juicios críticos obtenidos del marco teórico, objetivos y variables de la investigación.

### **3.4. Desarrollo del Proyecto**

Para el desarrollo del proyecto fue necesario ejecutar las siguientes actividades:

1. Analizar los principales parámetros técnicos de las redes de alumbrado público actuales.
2. Describir las vulnerabilidades de los sistemas de alumbrado público actuales.
3. Estudiar la distribución geográfica de las luminarias de un sector.
4. Analizar las tecnologías inalámbricas utilizadas en sistemas de monitoreo y gestión de luminarias.
5. Clasificar los sistemas de monitoreo y control de luminarias en función de estándares, eficiencia y alcance de la red.
6. Contrastar las ventajas y desventajas de las topologías de red aplicables a los sistemas de control y monitoreo.
7. Diseñar la topología de red inalámbrica de sensores utilizando módulos de RF.
8. Implementar un servidor bajo una distribución de código abierto para el monitoreo y control del sistema.
9. Implementar el sistema de transporte de información desde la red remota hacia el servidor.

10. Ejecutar las pruebas de funcionamiento del prototipo del sistema.
11. Elaborar el informe escrito del proyecto.

## CAPÍTULO IV

### DESARROLLO DE LA PROPUESTA

Luego del correspondiente análisis del marco teórico, se ha determinado que para la implementación del prototipo destinado al monitoreo y control de las instalaciones del alumbrado público, es necesaria la interacción de una red de sensores inalámbrica y un servidor LAMP ayudado de tecnologías web que permitan obtener una presentación de datos adecuada, atractiva y en tiempo real. Para dicho propósito y por motivos de comprensión, se ha desarrollado un esquema general del proyecto, el cual se muestra en la figura 4.1.

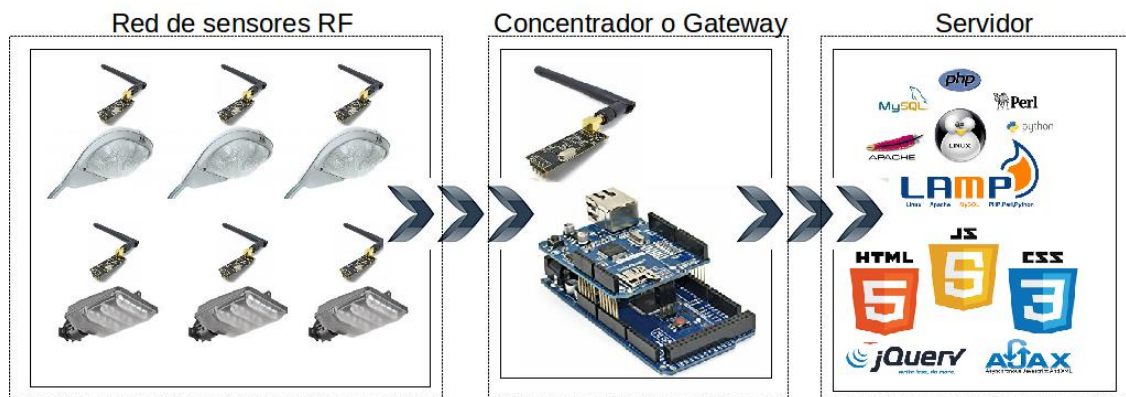


Figura 4.1: Esquema general del proyecto a implementarse .

Los niveles correctos en los parámetros de alumbrado público analizados en el siguiente apartado, proporcionan una máxima visibilidad en horas nocturnas tanto para las personas que transitan a pie como para las que lo hacen en vehículos. la falta de estos criterios anulan totalmente los beneficios de un sistema de alumbrado público; una de las causas que altera estos criterios de calidad es el cumplimiento de la vida útil de las lámparas dada por el fabricante lo que además de esto incrementa el consumo de energía.



#### 4.1. Análisis de los parámetros técnicos del alumbrado público a considerar.

Como punto de partida se analizará los principales parámetros técnicos involucrados en las redes de alumbrado público y las tecnologías de iluminación utilizadas. Los parámetros técnicos a considerar en la presente propuesta son:

##### 4.1.1. Consumo de Energía

El consumo de energía está determinado por la potencia de las lámparas y las horas que permanecen encendidas, teniendo en cuenta la potencia instalada (número de luminarias del sector), el factor de utilización, factor de mantenimiento entre otros factores determinados por el proveedor del servicio.

En el Ecuador las lámparas más utilizadas en alumbrado público son las de descarga de vapor de sodio por tal motivo se analizará el consumo energético de estas, para lo cual se siguieron los siguientes pasos:

##### Determinar el consumo individual

CNEL EP Unidad de Negocios Bolívar utiliza en alumbrado público, lámparas con potencias de 70, 100, 150, 250 y 400 Watts tal como se observa en el anexo A, a esto se le adiciona el consumo del balastro cuyas pérdidas dependen de la calidad del mismo y van desde el 4% hasta el 15% del consumo de la lámpara que acompaña, normalmente los balastros utilizados producen un 10% de pérdida de la potencia de la lámpara; esto se observa en la tabla 4.1

Tabla 4.1: Disipación de potencia de lámparas utilizadas en alumbrado público con balastro y sin balastro [22].

Potencia sin balastro (W)	Potencia con balastro (W)
70	77
100	110
150	165
250	275
400	440

- Número de lámparas

El número de lámparas existentes en el sector donde se necesita calcular el consumo de energía.

- Cálculo de la potencia instalada

La carga útil instalada esta determinada por la siguiente ecuación [37]:

$$Q = \frac{N_L * P}{1000} [KW] \quad (1.1)$$

Donde:

$Q$  = Potencia instalada en  $[KW]$ .

$N_L$  = Número de luminarias del sector [*adimensional*].

$P$  = Potencia de las lámparas con balastro en  $[W]$ .

- Número de lámparas

Al analizar la redes de alumbrado público controladas por CNEL EP Unidad de Negocios Bolívar, se obtuvo un total de 15 lámparas de 150 Watts promedio por transformador utilizado. Utilizando la ecuación 1.1 se obtiene:

$$Q = \frac{15 * 165W}{1000} = 2,475 [KW]$$

- Cálculo del consumo total de energía

El consumo total de energía esta determinado por la siguiente ecuación [37]:

$$C = Q * N_d * h_d \quad (1.2)$$

Donde:

$C$  = Consumo mensual en  $[KW/h]$ .

$Q$  = Carga instalada = 2,475  $[KW]$  (obtenida mediante ecuación 1.1).

$N_d$  = Número de días del mes = 30 en promedio por mes.

$h_d$  = Horas efectivas por día = 12 en promedio.

A través de los valores obtenidos, se calcula el consumo energético mensual mediante la ecuación 1.2. Obteniendo:

$$C = 2,475[KW] * 30[días] * 12[h] = 891[KWh]$$

- Cálculo del costo mensual de la energía consumida

Luego de obtener el consumo energético mensual, se calcula el costo mensual en dólares americanos multiplicando el consumo energético obtenido por el costo de alumbrado público según la empresa que provee el servicio mediante la tabla 4.2.

Tabla 4.2: Costos de alumbrado público por empresas en Ecuador [38].

Costos del Servicio de Alumbrado Público General - 2015							
EMPRESA	DISTRIBUIDORA	COSTO MEDIO (¢USD/kWh)	COSTO ENERGÍA (USD)	COSTO AO&M (USD)	COSTO CALIDAD (USD)	COSTO EXPANSIÓN (USD)	COSTO TOTAL (USD)
Empresas Eléctricas	Ambato	12,36	3.786.214	900.529	407.859	1.221.463	6.316.064
	Azogues	18,16	792.259	219.943	97.753	423.145	1.533.100
	Centro Sur	13,14	6.169.478	2.160.449	1.065.551	824.885	10.220.363
	Cotopaxi	10,74	1.907.848	371.220	186.786	301.412	2.767.267
	Norte	9,51	3.581.145	701.619	252.255	23.014	4.558.034
	Quito	11,23	14.830.566	4.050.873	2.085.335	2.367.820	23.334.594
	Riobamba	10,22	2.290.069	374.221	137.122	64.379	2.865.791
	Sur	10,86	2.208.137	575.291	183.035	58.527	3.024.990
	Galápagos	34,43	141.163	270.754	24.526	98.316	534.759
<b>Total Empresas Eléctricas</b>		<b>11,85</b>	<b>35.706.878</b>	<b>9.624.899</b>	<b>4.440.222</b>	<b>5.382.962</b>	<b>55.154.961</b>
Corporación Nacional de Electricidad	CNEL EP - Bolívar	11,30	1.354.453	152.949	67.978	120.954	1.696.334
	CNEL EP - El Oro	9,29	5.262.185	984.080	449.372	169.928	6.865.565
	CNEL EP - Guayas Los Ríos	11,85	5.472.826	1.216.978	298.196	1.682.076	8.670.076
	CNEL EP - Esmeraldas	13,58	2.341.608	434.770	127.270	926.804	3.830.452
	CNEL EP - Los Ríos	13,38	1.315.903	145.519	64.675	779.636	2.305.733
	CNEL EP - Manabí	10,49	7.965.673	1.350.161	390.662	1.725.077	11.431.573
	CNEL EP - Milagro	11,55	2.458.219	595.293	119.103	554.627	3.727.242
	CNEL EP - Santa Elena	12,56	2.646.566	761.734	235.865	879.855	4.524.020
	CNEL EP - Santo Domingo	11,18	2.450.468	791.738	199.840	169.057	3.611.102
	CNEL EP - Sucumbios	9,79	1.652.786	215.491	71.317	-	1.939.594
CNEL EP - Guayaquil	10,78	9.665.766	3.385.153	129.376	867.851	14.048.146	
<b>Total CNEL EP</b>		<b>11,05</b>	<b>42.586.454</b>	<b>10.033.867</b>	<b>2.153.653</b>	<b>7.875.864</b>	<b>62.649.838</b>
<b>Total Distribuidoras</b>		<b>11,29</b>	<b>78.293.332</b>	<b>19.658.766</b>	<b>6.593.874</b>	<b>13.258.826</b>	<b>117.804.799</b>

Como se esta analizando redes de alumbrado público utilizando datos de CNEL EP Unidad de Negocios Bolívar, se utiliza el valor de alumbrado público dado la tabla anterior, con lo que se obtiene:

$$Costo[USD] = 891[KW/h] * 0,113[USD] = 100,683[USD]$$

Se obtiene un costo de \$100,683 para el conjunto de 15 luminarias de 150 Watts mencionadas con anterioridad suponiendo que el sistema esta en óptimo estado y que las lámparas se encienden las horas debidas. El desperdicio de energía inicia cuando los fotocontroles sufren averías que hacen que las lámparas se enciendan en horas del día aumentando el coste en \$6,7122 mensual por lámpara al costo general del alumbrado público.

La tecnología LED esta reemplazando las lámparas tradicionales de VSAP por lo que es necesario hacer el correspondiente análisis de costos. Suponiendo que las lámparas VSAP antes analizadas sean de iluminación LED, para el calculo del costo se debe tomar en cuenta la lámpara equivalente a usar “ver tabla 4.3” y la forma en que esta funcionará en el régimen de trabajo. Según el funcionamiento planteado para las luminarias LED, estas funcionarán a máxima potencia durante las horas nocturnas más concurridas en el sector (el lapso de tiempo nocturno más concurrido es desde las 18:30 pm hasta las 22:00 pm) luego de eso las lámparas pasan a modo ahorro de energía disminuyendo su potencia en un 70 % y volviendo a incrementar

en caso de que algún vehículo o peatón este en el lugar.

Tabla 4.3: Lámparas LED equivalentes a las VSAP [39].

Bombilla LED	Bombilla VSAP
20 W	80 a 100 W
27 W	100 a 120 W
30 W	100 a 130 W
36 W	120 a 170 W
40 W	130 a 190 W
45 W	170 a 220 W
54 W	220 a 270 W
61 W	220 a 270 W
80 W	270 W en adelante
100 W	270 W en adelante

- Cálculo de la carga útil instalada

Según la tabla 4.3 la lámpara equivalente a las utilizadas en el sector analizado es la LED de 36 Watts; entonces utilizando la ecuación 1.1 se tiene:

Para el régimen de trabajo a máxima potencia:

$$Q = \frac{15 * 36W}{1000} = 0,54 [KW]$$

Para el régimen de trabajo en modo ahorro de energía:

$$Q = \frac{15 * 10,8W}{1000} = 0,162 [KW]$$

- Número de luminarias

Se analiza con el mismo número de luminarias que en el caso anterior (15 en total).

- Cálculo del consumo total de energía

Según la ecuación 1.2 y analizando el régimen de trabajo en los diferentes lapsos de tiempo para las luminarias LED se tiene:

Para el régimen de trabajo a máxima potencia:

$$C = 0,54[KW] * 30[días] * 12[h] = 194,4[KWh]$$

Para el régimen de trabajo en modo ahorro de energía:

$$C = 0,162[KW] * 30[días] * 12[h] = 58,32[KWh]$$

El valor de consumo de energía se analiza para las potencias en los 2 intervalos de tiempo de trabajo de las lámparas. Normalmente el sistema de alumbrado público permanece encendido 12h (desde las 6:30 pm a 6:30 am); el régimen de trabajo a máxima potencia es de 3 horas y media (desde las 6:30 pm hasta las 10:00 pm) y el régimen en modo ahorro de energía es de 8 horas y media 30 (desde las 10:00 pm hasta las 6:30 am) por lo que el consumo se calcula utilizando una regla de tres simple:

$$C = \frac{194,4[KWh] * 3,5[h]}{12[h]} + \frac{58,32[KWh] * 8,5[h]}{12[h]} = 98,01[KWh/h]$$

A partir de este valor se calcula el costo mensual utilizando la tabla 4.2 dando como resultado un valor de \$11.08. Así mismo cuando el sistema que detecta el nivel de iluminación del ambiente, el sistema de alumbrado público enciende las luminarias cuando no son necesarias incrementando un valor de \$0.79 por luminaria LED en el costo mensual existiendo un desperdicio de energía y de recursos.

#### 4.1.2. Vida Útil

Las lámparas utilizadas en alumbrado público tienen un tiempo de vida útil donde estas funcionan en ciclos de trabajo nominales hasta que su flujo luminoso este por debajo del 70 % del determinado por el fabricante. las lámparas de VSAP poseen una vida útil promedio de 23000 mientras que las LED alrededor de 50000 “ver tabla 2.2” según los fabricantes, este valor equivale aproximadamente a unos 5 años y 12 años respectivamente de funcionamiento en régimen normal siempre y cuando la tensión de la red pública sea constante, lo que no es posible debido a la naturaleza de la misma y debido a eventos producidos en la misma red, lo cual produce transitorios muy perjudiciales para las estructuras de alumbrado público. La red eléctrica pública sufre variaciones de voltaje de manera constante (un porcentaje más elevado en horas nocturnas) lo que disminuye la vida útil de las lámparas “ver figura 1.1” además de esto, reducen la eficiencia de las mismas deteriorando más rápido de lo normal las instalaciones de alumbrado público.

### 4.1.3. Eficacia de la fuente de luz

La correcta selección de las lámparas de alumbrado público determinaran el consumo de energía del sistema, hay fuentes luminosas que disipan la misma cantidad de potencia pero difieren en la eficacia (ver tabla 2.1) lo que contribuye a obtener un ahorro energético y por ende un ahorro de recursos energéticos esto debido que a Mayor eficacia menor número de luminarias a instalarse en el sector.

## 4.2. Requerimientos Técnicos

Una vez analizados los parámetros técnicos del alumbrado público a considerar en el proyecto se procede a analizar las topologías de red soportadas por el modulo NRF24101.

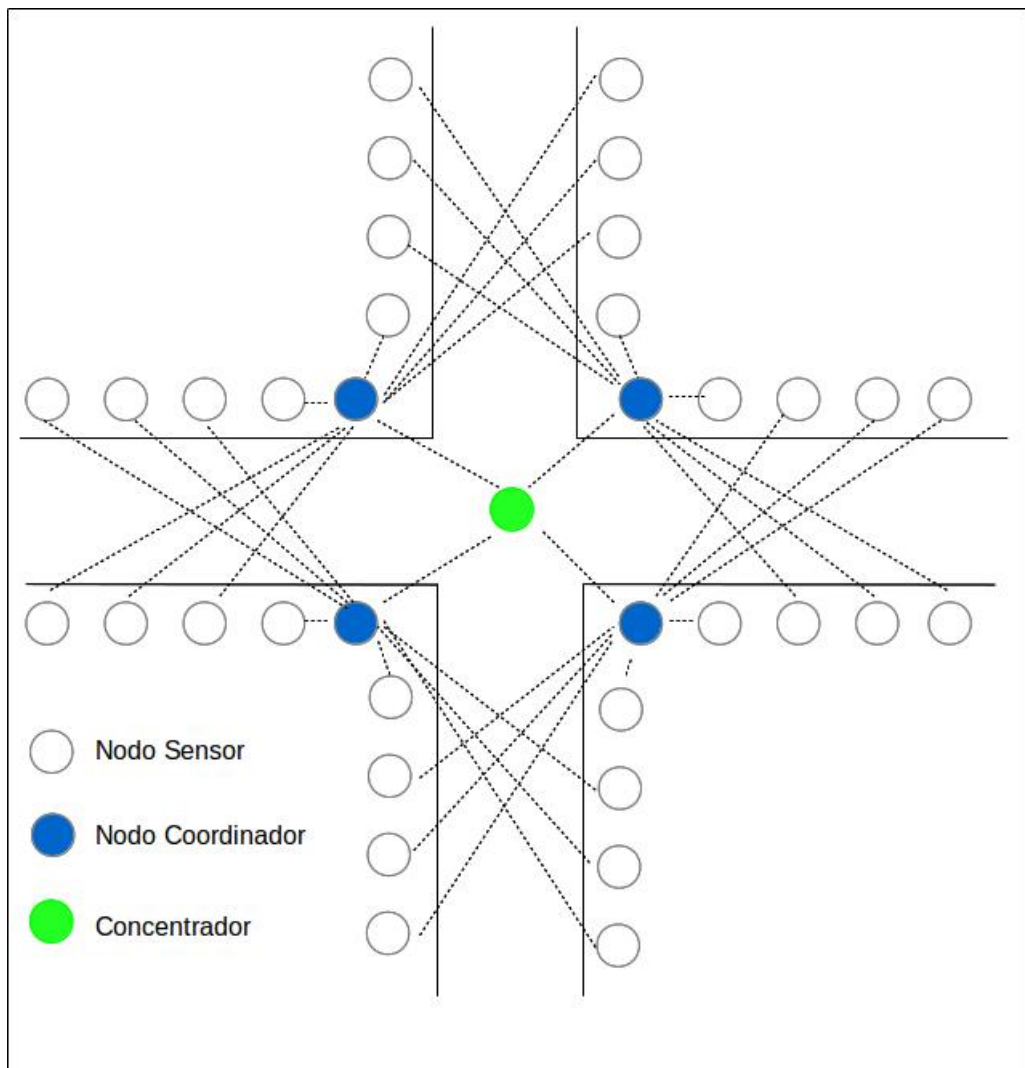


Figura 4.2: Esquema de la topología de red inalámbrica propuesta.

El anexo B y C, muestra las topologías soportadas por el transreceptor así como el direccionamiento soportado por los mismos por ende, según la distribución geográfica de las lámparas se necesita una red Pseudo-Mesh para asegurar la comunicación de cada uno de los nodos con el gateway. La figura 4.2 muestra la topología más óptima para la distribución de los nodos sensores; además, es necesario definir los componentes de cada uno de los etapas del sistema de monitoreo y control. El sistema consta de: La red de sensores RF, el concentrador de datos, y el servidor web.

#### **4.2.1. Red de sensores RF**

El esquema de la figura 4.3 proporciona un concepto más específico de un nodo sensor (esclavo) ubicado en cada una de las luminarias de alumbrado público. para una mejor comprensión, los nodos sensores se han dividido en subetapas para definir las funciones que recae sobre cada uno de los elementos que componen el mismo.

#### **Procesamiento**

Esta etapa esta formada por el controlador central (microcontrolador), el cual es el componente principal y el cerebro de cada nodo sensor, tiene la función de recibir las variables analógicas obtenidas por los sensores en forma de voltaje, las procesa en forma digital y genera la trama SPI para su posterior envío hacia el módulo de comunicación RF; además es el encargado de excitar la etapa de potencia que enciende la luminaria en las horas necesarias.

#### **Adquisición**

Esta formada por los sensores, los cuales deben ser capaces de tomar lectura de las variables, acondicionar la señal para posterior entrega al controlador central con el mínimo margen de error, se utilizó:

- Sensor de corriente que toma esta variable cuando la luminaria esta encendida, mide el consumo, determina si la lámpara esta averiada y genera el conteo de las horas que la lámpara ha permanecido encendida.
- Sensor de luz ambiental formado por una fotocélula y una etapa de acondicionamiento de señal la cual define el nivel de iluminación del ambiente e informa al controlador central cuando activar la etapa de potencia para el encendido de la bombilla.
- Las luminarias de tecnología LED, además de los sensores antes mencionados utilizan un sensor de movimiento el cual informa al controlador central la

presencia peatonal y vehicular para que excite la luminaria con el nivel de potencia requerido. Los componentes de esta subetapa son analizados posteriormente.

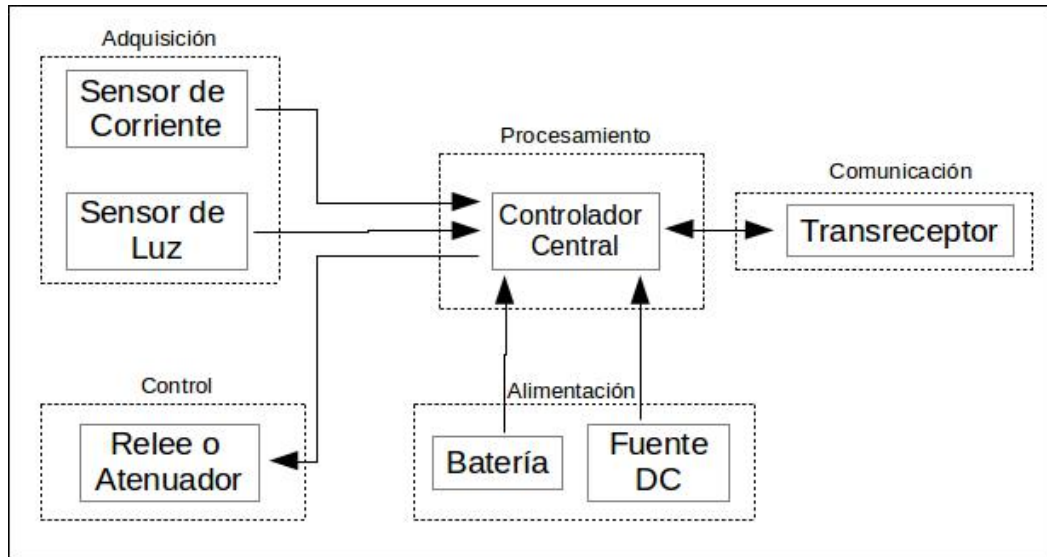


Figura 4.3: Esquema general de un nodo sensor (esclavo).

### Control

La etapa de control es la encargada de accionar las lámparas cuando el controlador central lo disponga y esta definida por la tecnología de iluminación utilizada. Para el caso de las lámparas de descarga se utiliza un relee que simplemente activa la lámpara (la utilización de atenuadores disminuye la vida útil de este tipo de lámparas), mientras que para las lámparas LED se utilizó un atenuador el cual mediante el microcontrolador se suministra la potencia necesaria a la lámpara en función de la presencia peatonal y vehicular.

### Alimentación

Fuente de energía y batería; desempeña uno de los papeles más importantes debido a que esta subetapa es la encargada de proveer la energía necesaria al hardware alojado en cada uno de los nodos sensores. la fuente DC proporciona permanentemente alimentación a todos los dispositivos que componen el nodo sensor y permiten su normal funcionamiento, mientras que la batería solo alimenta el microcontrolador y el transreceptor con el fin de mantener la comunicación en caso de fallas de energía (apagones) y notificar el problema presentado.



## **Comunicación RF**

Proporciona comunicación inalámbrica a cada nodo sensor, este dispositivo es necesario para la comunicación entre el hardware localizado en cada una de las luminarias y el concentrador de datos.

### **4.2.2. Concentrador de Datos o Gateway**

Al igual que la red de sensores RF, el concentrador de datos se ha dividido en subetapas “ver figura 4.4 a” para una mejor comprensión de las funciones que recae sobre cada componente.

## **Comunicación RF**

Recibe las tramas SPI de cada uno de los coordinadores de la red, y las entrega al controlador para su respectivo procesamiento. este dispositivo de comunicación es de similares características a los utilizados en cada uno de los nodos sensores.

## **Entramado**

En esta etapa, cada una de las tramas SPI son decodificadas y concentradas en una sola trama general la cual sera enviada a la red de transporte para el posterior envío de datos a la central de monitoreo.

## **Comunicación Cableada**

Aquí llegan las tramas generadas por el controlador y mediante algún protocolo de transporte de información esta es llevada a la central de monitoreo y por ende alojada en la base de datos que reposa en el mismo.

### **4.2.3. Monitoreo y control remoto**

Los datos de cada una de las luminarias son llevados hasta aquí para su respectivo almacenamiento, presentación y generación de reportes; esta etapa ha sido dividida en subetapas “ver figura 4.4 b” para poder comprender las funciones de cada una de estas. Esta formada por las siguientes etapas:

## **Comunicación**

Descrita en la etapa de transporte de información.

## Servidor WEB

Esta subetapa esta formada por un servidor LAMP que gestiona y administra las páginas web, la base de datos y los complementos necesarios para obtener una experiencia de usuario satisfactoria.

## Clientes

Son los dispositivos que presentan al usuario los datos mediante acceso al servidor, muestran el estado de las luminarias (número de horas de funcionamiento, cumplimiento de la vida útil, averías y fallos de energía).

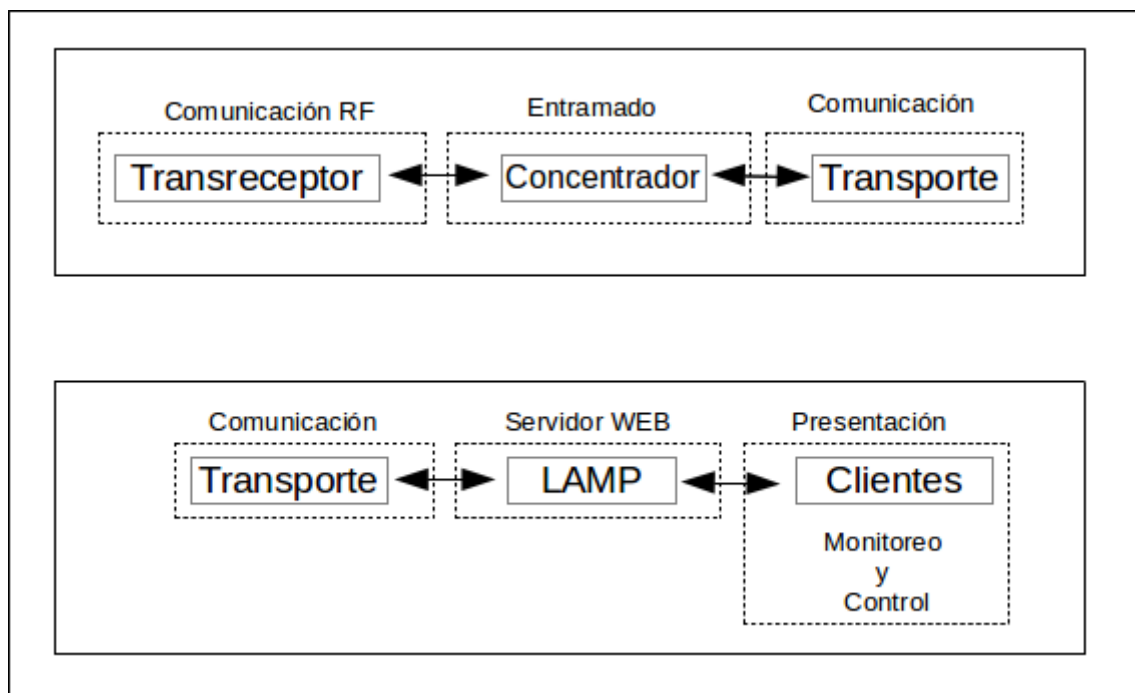


Figura 4.4: Esquema general a) Concentrador de datos. b) Servidor Web.

En conformidad a lo mencionado anteriormente, el análisis técnico del hardware determinará los dispositivos que cubran los requerimientos, basándose en los parámetros necesarios presentados en este apartado, estos están descritos en las tablas del siguiente apartado.

### 4.3. Análisis técnico del hardware requerido

#### Controlador Central

El campo de los microcontroladores es muy amplio, existen chips con diferentes características, diferentes marcas y diferentes aplicaciones. El análisis del marco

teórico determina que se debe trabajar con plataformas de hardware libre por lo que se presenta una tabla comparativa entre los diferentes microcontroladores que componen las placas de hardware libre, se diseñara placas personalizadas para cada uno de los nodos sensores y los microcontroladores se programaran en la IDE de Arduino debido al gran soporte y gran número de librerías.

Tomando en cuenta cada una de las características técnicas y las implicaciones de cada una de las placas en diseño de cada uno de los nodos sensores y su implementación se ha seleccionado el Atmega328p DIP (núcleo de Arduino uno) como el controlador central, debido a su voltaje, corriente de operación, número de entradas analógicas y canales de PWM, permitiendo una cómoda conexión de los sensores además cuenta con gran cantidad de documentación necesaria, bajo costo y accesibilidad para cualquier país.

Tabla 4.4: Análisis técnico comparativo entre los diferentes microcontroladores utilizados en placas de desarrollo.




Controlador central			
Parámetros	Atmega328p	PIC18F2550	AT91SAM3X8E
Técnicos			
Costo	\$3,50	\$7,45	\$15,99
Accesibilidad	En cualquier parte del mundo	En cualquier parte del mundo	En ciertas regiones
Arquitectura	RISC 8 bits	RISC 8 bits	RISC 32 bits
Voltaje de operación	1,8V a 5,5V	2V a 5,5V	1,62V a 3,6V
Pines I/O	23	24	54
Canales PWM	6	2	12
Pines de entradas analógicas	8	10	12
Corriente máxima en pines	40 mA	25 mA	130 mA
Memoria flash	16 KB	32 KB	512 KB

SRAM	2 KB	2 KB	100 KB
EEPROM	1024 B	256 B	8 KB
Velocidad de reloj	hasta 20 MHz	hasta 48 MHz	hasta 84 MHz
Comunicaciones	I2C, SPI, UART	I2C, SPI, UART, EAUSART	I2C, SPI, UART, USB, I2S
Resolución ADC	10 bits	10 bits	12 bits
Interrupciones externas	24	13	48
Interfaz de Programación	FTDI, ICSP	FTDI, ICSP, USB	FTDI, ICSP, USB

### Sensor de corriente

En lo que a corriente respecta se requiere un sensor capaz de tomar lecturas estimadas entre 0 y 5 amperios, medirlas de manera eficiente y que su salida analógica este entre 0 y 5 volts para que el microcontrolador seleccionado las interprete sin problemas, para lo cual se ha desarrollado el respectivo análisis comparativo mostrado en la tabla 4.5.

Tabla 4.5: Análisis técnico comparativo entre los diferentes sensores de corriente utilizados en placas Arduino.

Sensor de corriente			
Parámetros Técnicos	ACS712	SCT-013-000	ACS714
			
Costo	\$10	\$13,50	\$12
Accesibilidad	En cualquier parte del mundo	En cualquier parte del mundo	En cualquier parte del mundo
Dispositivo interno	ACS712 ELC-05B	—	ACS714
Rango	-5A a 5A	0A a 100A	-30A a 30A

Señal de salida	0V a 5V	0mV a 50mV	0V a 5V
ADC	185mV/A	0,5mV/A	66mV/A
Salida lineal	Si	Si	Si
Acoplamiento	Si	No	Si
Fuente Abierta	Si	Si	Si

### Sensor de presencia u movimiento

Este sensor debe tener un rango de visibilidad de 360 grados, tener una salida digital y un alcance de 7 metros mínimo. El análisis técnico se muestra en la tabla 4.6.

Tabla 4.6: Análisis técnico comparativo entre los diferentes sensores de presencia utilizados en Arduino.




Sensor de presencia			
Parámetros Técnicos	HC-SR501	HC-SR04	GP2Y0A21YK0F
			
Costo	\$5	\$3,90	\$9,50
Accesibilidad	En cualquier parte del mundo	En cualquier parte del mundo	En cualquier parte del mundo
Voltaje de alimentación	5V a 20V	5V	4,5V a 5,5V
Distancia	7m	4m	10cm a 80 cm
Rango	360 grados	15 grados	15 grados
Señal de salida	digital	digital	analógico
Acoplamiento	si	si	no
Temperatura de operacion	-15 a 70 grados celsius	-15 a 70 grados celsius	-10 a 60 grados celsius

Tiempo de retardo	hasta 5 min	10 us	-
Consumo	65mA	15mA	30mA

#### 4.3.1. Comunicación RF

Debido al tipo de red a implementar en el sistema de alumbrado público es obligatorio el uso de dispositivos diseñados para ambientes hostiles debido a que transmiten información muy próximos a la red eléctrica, es obligatorio un dispositivo capaz de brindar una interfaz inalámbrica que no interrumpa las comunicaciones habituales y que no sea irrumpido por las mismas, el consumo energético deberá ser mínimo tomando en cuenta que será utilizado para comunicaciones en tiempo real, los parámetros técnicos de cada modulo analizado, se muestra en la tabla 4.7. Es necesario aclarar que, por cuestiones de accesibilidad y costo se ha descartado la utilización del módulo XBEE en cualquiera de sus versiones y el módulo Bluetooth por cuestiones de número de nodos que permite la red, En consecuencia, se ha optado por el módulo de comunicación NRF24L01, por cuestiones de dimensión, velocidad de transmisión configurable, número de canales de RF, número de nodos en la red y la jerarquización de los nodos de la red.

Tabla 4.7: Análisis técnico de módulos de comunicación RF.




Módulos de Comunicación RF			
Parámetros Técnicos	NRF24L01	XBEE s2	Bluetooth
			
Costo	\$5	\$42,50	\$9
Accesibilidad	En cualquier parte del mundo	En cualquier parte del mundo	
Dispositivo interno	NRF24	XB24-Z7WIT-004	HC-05
Protocolo	—	Zigbee	Bluetooth v2.0 + EDR
Interfaz de comunicación	SPI	UART	UART

Velocidad TX	250Kbps, 1 y 2Mbps configurable	250 Kbps	2 Mbps
Nodos por subred	255	255	8
Voltaje de operación	1,9V a 3,6V	2,8V a 3,4V	3,1V a 4,2V
Consumo	11,3 mA Tx 26uA Sleep	40 mA Tx 1uA sleep	50 mA
Frecuencia de trabajo	2,4GHz a 2,525GHz	2,4GHz	2,4 a 2,48 GHz
Antena	interna y externa (lna)	interna y externa (lna)	interna
Antena	100m interna 1km con lna	120m interna 1km lna	20m
Sensibilidad	-90dBm	-94dBm	-80dBm
Retransmisión de paquetes	automática	automática	automática
Corrección de errores	CRC 2 bytes	CRC 4 bytes	CRC 8 bits
Modulación	GMSK	O-QPSK	GFSK
Tamaño	15x29mm	2,43x2,76 cm	12,7x27mm

## Control

La etapa de potencia esta determinada por la tecnología de iluminación de la lámpara. En lámparas de descarga se necesita un dispositivo conmutador que soporte la corriente que esta dada en las especificaciones del producto, la naturaleza de las lámparas de gases a presión no permite atenuar el flujo luminoso debido a que estas sufren una disminución en la vida útil por las variaciones de potencia suministrada [22]; debe ser de tamaño reducido, soportar una corriente de 5A en AC a 250V y poseer la capacidad de activarse con un voltaje de 5V y un transistor digital como elemento de conmutación, el correspondiente análisis técnico se encuentra en la tabla 4.8.




Tabla 4.8: Análisis técnico comparativo entre los conmutadores electromagnéticos.

Conmutadores electromagnéticos			
Parámetros Técnicos	JZC-11F	BOSH0535	SONGLE-12V
			
Voltaje de excitación	5V	24V	12V
Voltaje nominal	220VAC 24VDC	24V	125VAC 28VDC
Corriente nominal	5A	70A	10A
Temperatura de servicio	-40 a +85	-40 a +125	-25 a +70
Número de terminales	5	4	5
Soporte	no	no	no
Material de contacto	Aleación de plata	Oxido de plata-estaño	Oxido de cadmio-plata
Resistencia de contacto	100m	-	100m
Consumo	37,5mA	12,5mA	30mA

En lámparas LED se necesita un dispositivo que tenga la característica de limitar la cantidad de potencia que llega a la carga mediante PWM en función de la presencia peatonal y vehicular a lo largo de calles y avenidas. Debido a que esta tecnología de iluminación es excitada con corriente continua, debe resistir la velocidad de conmutación de la señal de control proveniente del controlador central y debe ser un dispositivo de estado sólido excitado por voltaje, motivos por los cuales se utilizó el Mosfet de canal N IRF830, el análisis técnico comparativo del dispositivo mencionado se encuentra en la tabla 4.9.



Tabla 4.9: Análisis técnico comparativo entre los conmutadores de estado sólido.

Conmutadores de estado sólido			
Parámetro Técnico	Mosfet	Darlington	IGBT
			
Modelo	IRF830	TIP122	IXGR 40N60C2D1
Voltaje soportado	VDS = 500V	VCE = 100V	VCE = 600V
Voltaje de control	VGS = 10V	VBE = 5V	+/-20V
Corriente soportada	4,5A	5A	56 A
Corriente de control	0A	120mA	0A
Temperatura de operación	-55 a +150	-65 a +150	-55 a +150
Velocidad de conmutación	8,2ns	-	32ns
Encapsulado	TO220AB	TO220AB	TO-247AD
Diodo damper	si	si	si
Recuperación diodo damper	3,5ns	1 us	25ns
Temperatura óptima	25	25	25
Capacitancia de entrada	610pF	-	220pF
Capacitancia de salida	160pF	200pf	180pF
Costoso	no	no	si
Disponibilidad	En cualquier parte del mundo	En cualquier parte del mundo	Bajo pedido

## Alimentación

El microcontrolador utilizado en el presente proyecto necesita un voltaje de alimentación comprendido entre 1,8V y 5,5V; este voltaje esta en función del cristal que lo acompaña (ver tabla 4.10), por lo que es necesario utilizar una fuente de energía que provea 5V, estas fuentes de alimentación son muy fáciles de conseguir ya sea diseñando una propia o se las puede adquirir desde \$2.

Tabla 4.10: voltaje de alimentación en función del cristal utilizado en el microcontrolador Atmega328p.

Frecuencia del cristal (MHz)	Voltaje de Alimentación (V)
0 - 4	1,8 - 5,5
4 - 10	2,7 - 5,5
10 - 20	4,5 - 5,5

En casos de fallo de energía, el nodo sensor debe seguir funcionando y enviando información de lo que sucede en las luminarias por lo que es necesaria la intervención de una batería o pila que tenga la energía suficiente para mantener el nodo encendido todo el tiempo en el que la lámpara no posea energía de la red pública; al tratarse de apagones (eventos poco comunes y de poca duración) se procedió a utilizar dos pilas en serie CR2032 que provee 5.4V suficientes para el fin propuesto. El análisis de este componente es presentado en la tabla 4.11.

Tabla 4.11: Análisis técnico entre baterías y pilas.




Baterías y Pilas			
Parámetros	CR2032	LI-PO	LI-ION
Técnicos			
Costo	\$0,65	\$20	\$15
Composición de célula	Litio	Polímero de Litio	Iones de Litio
Voltaje	3V	3,7V	3,7V
Corriente	560mA	1200mA	1900mA
Tamaño	20mm x 3,20mm	9mm x 30mm x 54mm	66mm x 46mm x 3mm
Peso	30g	27,5g	41g

Riesgo de ignición	Al recargar	Voltaje de carga límite	Casí nula
Pin de monitoreo de carga	no	no	si
Pin de monitoreo de temperatura	no	no	si
Recargable	no	si	si
Accesibilidad	En cualquier parte del mundo	En cualquier parte del mundo	En cualquier parte del mundo

### Controlador para entramado

Se trata de la parte medular del sistema de concentración de datos, recibe las tramas de datos individuales de cada nodo sensor, y las transforma en una trama general para transportarla al servidor de monitoreo utilizando TCP/IP. debe ser compatible con módulos de comunicación ethernet, ser de bajo costo, de hardware libre y poseer librerías soportadas por la comunidad. El controlador que cumple estas especificaciones es Arduino ya que la Mayoría de módulos de comunicación en la actualidad están diseñados para interactuar con esta tarjeta. el análisis técnico respectivo se presenta en la tabla 4.12.

Tabla 4.12: Análisis de plataformas de hardware libre para concentración de datos.

Controladores de hardware libre			
Parámetros Técnicos	Arduino uno	Pingüino 18F2550	Flora Adafruit
			
Costo	\$10	\$15,25	\$18,95
Núcleo	ATmega328p	PIC18F2550	ATmega32u4
Voltaje de operación	4,5V - 5,5V	2V - 5,5V	3,3V
Voltaje de entrada	7V - 12V	7V - 12V	3,3V

Pines de propósito general I/O	14	23	8
Entradas analógicas	6	5	6
Canales PWM	6	2	-
Corriente pines I/O	40mA	25mA	Uso específico
Memoria flash	32KB	32KB	-
SRAM	2KB	2KB	-
EEPROM	1KB	256B	-
Cristal	16MHz	20MHz	1kHz
Comunicaciones	UART, I2C, SPI	UART, I2C, SPI, USB	UART, I2C, SPI, USB
Peso	18g	12g	30g
Dimensiones	8 x 5,5 x 2,5 cm	Depende versión	100 x 60 mm
Interfaz de programación	USB, ICSP	USB, ICSP	USB
Conector de batería	si	si	si
Compatible con módulos de comunicación	si	si	Con acondicionamiento de señal a 3,3V
Accesibilidad	Cualquier parte del mundo	Cualquier parte del mundo	Cualquier parte del mundo.

### **Tecnología de comunicación de transporte**




Existen diversas tecnologías que permiten conectar remotamente la red de sensores con el servidor y los clientes para monitorear el sistema de iluminación. La diferencia radica en el costo, alcance, velocidad de transmisión. A lo largo de la red de transporte de energía eléctrica existen sistemas de monitoreo implementados con tecnologías de transporte de información y en su mayoría poseen canales libres que permiten que otros dispositivos se conecten, por lo que la prioridad del módulo

de comunicación del concentrador sera llevar las tramas a las subestaciones para conectarlo al SCADA de las empresas eléctricas mediante TCP/IP.

## Servidor

El presente proyecto propone un prototipo de un sistema de monitoreo y control del alumbrado público por lo que no son necesarias las características de un servidor, basta con utilizar una computadora de bolsillo de bajo costo que permita almacenar la base de datos, las páginas web embebidas y todos los componentes que permitirán a los clientes monitorear el estado de las luminarias en tiempo real; el computador de bolsillo más conocido, más soportado y preferido por los desarrolladores es la Raspberry Pi que por sus características atractivas se utilizara en el presente proyecto. En la tabla 4.13 se realizo un análisis técnico entre las diferentes computadoras de bolsillo que el mercado ofrece a los desarrolladores.




Tabla 4.13: Análisis técnico de las computadoras de bolsillo existentes en el mercado.

Computadoras de bolsillo			
Parámetros	Raspberry pi	Banana pi	Orange pi
Técnicos			
Costo	\$35	\$30	\$20
SOC	Broadcom BCM2836	ARM Cortex-A7	ARM Cortex-A7
CPU	ARM11 ARMv7 ARM Cortex-A7	ARMv7 ARM Cortex-A7	Allwinner H3
Núcleos	4	2	2
Frecuencia del reloj	900 MHz	1 GHz	1,6 GHz
Overclocking	si	si	si
GPU	Broadcom VideoCore IV 250 MHz. OpenGL ES 2.0	ARM MALI400	ARM Mali-400 MP2 GPU
RAM	1 GB LPDDR2 SDRAM 450 MHz	1 GB DDR3	1 GB DDR3
USB 2.0	4	2	3

Salidas de video	HDMI, RCA	HDMI, RCA, LVDS	HDMI, RCA
Resolución de video	1920 x 1200 píxeles	1920 x 1200 píxeles	1920 x 1200 píxeles
Almacenamiento	SD	SD	SD
Ethernet	10/100 Mbps	Gigabit ethernet	10/100 Mbps
Tamaño	85,60 x 56,5 mm	92 x 60 mm	85 x 55 mm
Peso	45 g	48 g	38 g
Consumo	5V, 600mA	5V, 1A	5V, 500mA
Accesibilidad	Cualquier parte del mundo	<i>En ciertos lugares</i>	En ciertos lugares

Al tratarse de una Raspberry Pi, trabaja con una arquitectura ARM de 32 bits por lo que no se puede instalar cualquier sistema operativo que soportan las computadoras personales. Al tratarse de una computadora destinada a desarrolladores y de hardware abierto, GNU/Linux lidera en número de distros compatibles con esta minicomputadora por lo que dependiendo del uso se debe elegir el SO, como se va a utilizar como servidor no hace falta desperdiciar recursos en procesamiento gráfico, el análisis técnico de las distribuciones GNU/Linux ARM 32 bits se muestran en la tabla 4.14

Tabla 4.14: Distribuciones Linux ARM 32 bits.

Distribuciones GNU/Linux para arquitecturas ARM			
Parámetros Técnicos	Raspbian	Fedora remix	Ubuntu mate
			
Licencia	GPL, GPLv2 y otras libres	GPL, GPLv2 y otras libres	GPL, GPLv2 y otras libres
Modelo de desarrollo	Software libre y de código abierto	Software libre y de código abierto	Software libre y de código abierto
Fecha de lanzamiento	Junio 2012	Febrero 2012	
Núcleo	Linux	Linux	Linux

Tipo de Núcleo	Monolítico	Monolítico	Monolítico
Interfaz gráfica	LXDE y minimal	GNOME y minimal	MATE y minimal
Plataformas soportadas	ARMv6, ARMv7	ARMv6, ARMv7	ARMv7
Sistema de gestión de paquetes	dpkg	rpm	dpkg
Estado	En desarrollo	En desarrollo	En desarrollo
Última versión	jessie 8	25	16.04
Basada	Debian	Fedora	Ubuntu
Soporte	si	si	si
Accesibilidad	Cualquier parte del mundo	Cualquier parte del mundo	Cualquier parte del mundo

Una vez seleccionado los componentes que darán vida el sistema de monitoreo y control de alumbrado público, se precisa el desarrollo de la etapa de la red de sensores desde el punto de vista electromagnético con el fin de garantizar el funcionamiento en caso de implementarse el proyecto a escala real en calles y avenidas.

#### 4.4. Diseño de la red de sensores RF

La red de sensores inalámbrica esta expuesta al ruido electromagnético de la red eléctrica, se debe realizar un análisis matemático para predecir el comportamiento de cada uno de los nodos a implementar tomando en cuenta parámetros de comunicación esenciales en la transmisión de datos. Además, se debe tomar valores reales del sistema pero implementar nodos de prueba en la vida real resulta costoso e ineficiente porque presenta dificultades en el momento de ejecutar las pruebas, necesita calibración constante y se corre riesgos de accidentes al trabajar con etapas de potencia. Este problema es solucionado mediante los simuladores, porque proveen una solución económica y fácil de usar, predicen comportamientos en tiempo real, permiten realizar correcciones en el sistema e ilustra ya sea en forma ideal o real el comportamiento del evento simulado en base a modelos matemáticos definidos.



Figura 4.5: Trama ShockBurst™ mejorada del NRF24101[34].

#### 4.4.1. Análisis matemático

Luego del correspondiente análisis de los modelos de propagación en la sección del marco teórico, es necesario calcular ciertos parámetros esenciales en la comunicación de la red de sensores con el concentrador. Uno de los parámetros a definir es la tasa efectiva promedio de éxito en la entrega de un mensaje en un determinado canal de comunicación denominado como throughput el cual por regla general es medido en (bps) y se calcula con la ecuación:

$$Throughput = \frac{Carga [bytes]}{Retardo [ms]}$$

La carga esta determinada por el fabricante del dispositivo según se muestra en la figura 4.5, la trama es de longitud variable y se genera automáticamente, de donde se determina una carga total máxima de 49 bytes

El retardo total en la transmisión dado en  $[ms]$  de los datos esta determinado por el ciclo del protocolo Shockburst, es decir el tiempo que demora una transmisión completa y esta dado por la siguiente ecuación según el fabricante de los módulos NRF24101.

$$T_{ESB} = T_{UL} + 2T_{stby2a} + T_{OA} + T_{ACK} + T_{IRQ}$$

Donde:

$T_{ESB}$  =Tiempo del ciclo del protocolo ShockBurst mejorado.

$T_{UL}$  =Tiempo de subida.

$T_{stby2a}$  =Tiempo de reposo del dispositivo mientras espera el acuse de recibo.

$T_{OA}$  =Tiempo en el aire.

$T_{ACK}$  =Tiempo en el aire con ACK.

El tiempo de subida es calculado con la ecuación:

$$T_{UL} = \frac{longitud - payload}{SPI - data - rate} = \frac{8 [bit/byte] \cdot N [bytes]}{SPI - data - rate [bit/s]}$$



$$SPI - data - rate = \frac{f_{cristal}}{preescaler} = \frac{16 [MHz]}{2} = 8 [Mbps]$$

$$T_{UL} = \frac{8 [bit/byte] * 49 [bytes]}{8Mbps} = 49 [us]$$

El tiempo en el aire se calcula con la siguiente ecuación:

$$T_{OA} = \frac{longitud - payload}{data - rate - aire} = \frac{8 [bit/byte], 49 [bytes]}{250 [kbps]} = 1,56 [ms]$$

El tiempo en el aire de retorno se calcula con:

$$T_{ACK} = \frac{longitud - payload}{data - rate - aire} = \frac{8 [bit/byte], 5 [bytes]}{250 [kbps]} = 160 [us]$$

El tiempo del IRQ esta dado en la tabla 4.15 según la velocidad de transmisión a la que se ha configurado el dispositivo.

Tabla 4.15: T(IRQ) en función de la velocidad de transmisión soportada por el NRF24101 .

VTX	T(IRQ)
2 Mbps	6 us
1 Mbps	8,2 us
250 Kbps	8,2 us

El tiempo de espera del dispositivo hasta obtener el acuse de recibo del paquete ( $T_{stby2a}$ ) esta definido por el fabricante en 130 us. Con los tiempos calculados anteriormente se puede obtener el retardo total del protocolo Shockburst con lo que se obtiene y por ende el troughtput teórico.

$$T_{ESB} = T_{UL} + 2T_{stby2a} + T_{OA} + T_{ACK} + T_{IRQ}$$

$$T_{ESB} = 49 [us] + 2(130 [us]) + 1560 [us] + 160 [us] + 8,2 [us] = 2037,2 [us]$$

$$throughput = \frac{L [bits]}{T_{ESB}} = \frac{49 [bytes] * 8 [bits/bytes]}{2037,2 [us]} = 192,42 [Kbps]$$

En cambio, para el cálculo práctico en el que se han enviado paquetes de datos de 24 bytes, que incluye el preámbulo (1 byte), la dirección (3 bytes), el paquete de control de campo (1,125 bytes), la carga (4 paquetes de 4 bytes) y el paquete de CRC (2 bytes); se puede calcular el throughput real utilizando la misma fórmula que en el caso anterior pero modificando el valor del campo de datos.

$$T_{UL} = \frac{8 [bit/byte] * 24 [bytes]}{8Mbps} = 24 [us]$$

$$T_{OA} = \frac{8 [bit/byte], 24 [bytes]}{250 [kbps]} = 768 [us]$$

$$T_{ESB} = 24 [us] + 2(130 [us]) + 768 [us] + 160 [us] + 8,2 [us] = 1220,2 [us]$$

$$throughput = \frac{24 [bytes] * 8 [bits/bytes]}{1220,2 [us]} = 157,35 [Kbps]$$

Las interferencias, el ruido y la distorsión que sufren las comunicaciones inalámbricas pueden producir errores de bits, llegando a la pérdida parcial o total de un paquete produciendo errores en la transmisión. El BER o tasa de error de bit es la relación entre el número de bits incorrectamente recibidos, con respecto al total de bits transmitidos durante un intervalo de tiempo. Para calcular la BER de la banda de 2,4 GHz, se utiliza la ecuación:

$$BER = Q(\sqrt{2SNR}) = 1/2erfc(\sqrt{SNR})$$

la cual incluye la función erfc(x) (función de ingeniería utilizada para calcular la función de error complementaria integrada entre el límite inferior especificado e infinito). Para encontrar el BER primero se calcula la potencia de ruido para una temperatura ambiente de 25º, un ancho de banda de 1MHz (para las velocidades de 250Kbps y 1Mbps) y un ruido artificial estimado de 6dB:

$$N = KTB + 6dB$$

$$N = 1,3806 \times 10^{-23} [J/0K] * (25^0C + 273)^{[0K]} * 1 \times 10^6 [Hz] + 6 [dB]$$

$$N = -143,85 [dB] + 6 [dB] == -107,8571 [dBm]$$

Luego de obtener la potencia de ruido con los parámetros mencionados anteriormente se obtiene la SNR utilizando el NRF24101 el cual a una velocidad de 250Kbps posee una sensibilidad de -94dBm:

$$SNR = \frac{P_{RX}}{N} = \frac{-94 [dBm]}{-107,8571 [dBm]} = 24,304$$

Luego de obtener la relación señal a ruido se puede obtener el BER utilizando la función error complementario  $erfc(x)$  utilizada para el calculo de este parámetro en dispositivos que operan en la banda de 2,4 GHz.

$$BER = \frac{1}{2}erfc(\sqrt{SNR}) = 1,5631 \times 10^{-12}$$

Varios proyectos realizados con dispositivos de similares características demuestran que el retardo de los protocolos es Mayor al obtenido teóricamente por lo que la tasa efectiva de transferencia de paquetes se ve afectada por parámetros externos (en Mayor proporción por la distancia). Para analizar el throughtput teórico en varios escenarios se utilizan los modelos de propagación Log-normal, Multi-wall y Lee analizados con anterioridad los cuales son utilizados en el diseño de redes de sensores.

El modelo Log-normal se analizo para un coeficiente de perdida de  $n = 4$  el cual corresponde a entornos con obstáculos y con una alta interferencia, las pérdidas a distancia de referencia ( $PL_{d0}$ ) con un valor de 45dB y una variable aleatoria  $X_\sigma$  con una distribución Log-normal de media 0. Reemplazando los parámetros en la ecuación 2.2 se tiene:

$$PL(d) = 45 [dB] + 10(3)log(d) + 0$$

$$PL(d) = 45[dB] + 30log(d)$$

El modelo multiwall se utiliza para estudiar entornos con varios obstáculos,

paredes y suelos los cuales provocan atenuaciones de  $4dB$  y  $3dB$  respectivamente. El número de muros y paredes esta determinado por la ubicación geográfica de las lámparas pero se hace una media de 3 ya que los coordinadores no deben estar muy lejos y 0 pisos ya que el  $T_x$  y el  $R_x$  están bastante alejados del mismo. Las pérdidas de referencia están consideradas en  $45dB$  como en el modelo anterior.

$$PL(d) = 45 [dB] + 20\log(d) + 5 * 4 [dB]$$

$$PL(d) = 20\log(d) + 65 [dB]$$

El modelo de Lee ha sido analizado para una altura correspondiente a la que poseen los postes de alumbrado público que es de 12m disminuido en 2m ya que es la ubicación predeterminada de las lámparas tanto para  $h_t$  (altura del transmisor) como para  $h_r$  (altura del receptor). el resto de parámetros como sucede en el modelo de pérdidas por espacio libre están determinados por la frecuencia y la distancia entre el  $T_x$  y el  $R_x$ .

$$PL(d, f) = 40\log(d) + 20\log(f) - 20\log(10m * 10m)$$

$$PL(d, f) = -40 [dB] + 40\log(d) + 20\log(f)$$

Una vez determinadas las pérdidas en función de la distancia se analizará la tasa de bit erróneo (BER) y la tasa efectiva de transmisión (Troughput) en función de la misma variable con el fin de determinar el alcance máximo del dispositivo y el modelo del mismo apropiado para la red de sensores. En la tabla 4.16 se observan los 2 modelos existentes de los módulos NRF24l01 así como sus características de frecuencia ganancias y potencias irradiadas.

Tabla 4.16: Análisis de parámetros técnicos de propagación de los transreceptores NRF24l01 en sus diferentes modelos.

NRF24l01		
	PA + LNA	Antena Integrada
Potencia de Salida	0 dBm	0 dBm
Ganancia PA	20 dB	-

Ganancia LNA	10 dB	-
Figura de Ruido LNA	2,6 dB	-
Ganancia de la Antena	2 dBi	-
Sensibilidad a 250 Kbps	-104 dBm	-104 dB

#### 4.4.2. Análisis de la red de sensores bajo simulación

La evaluación de la red de sensores en la banda de 2,4GHz se la modelo mediante el simulador OMNET++ versión 4; la topología de la red de sensores punto - multipunto simulada se observa en la figura 4.6 mientras que los valores obtenidos de la tasa de bit erróneo se muestran en la tabla nos da una buena aproximación del comportamiento de la misma en entornos ruidosos.



Figura 4.6: Topología simulada de la red de sensores en OMNET++ 4.

Los resultados muestran un comportamiento aproximado al modelo Log-normal el cual se observa en el siguiente sub-apartado, lo que muestra que para entornos ruidosos existe una cobertura máxima de 30m

Tabla 4.17: Taza de bit erróneo (BER) obtenida del simulador Omnet++ v4

NRF24I01		NRF24I01 PA LNA	
Distancia (m)	BER (%)	Distancia (m)	BER (%)
1	0	1	0
2	0.0055	20	0
4	0,025	40	0

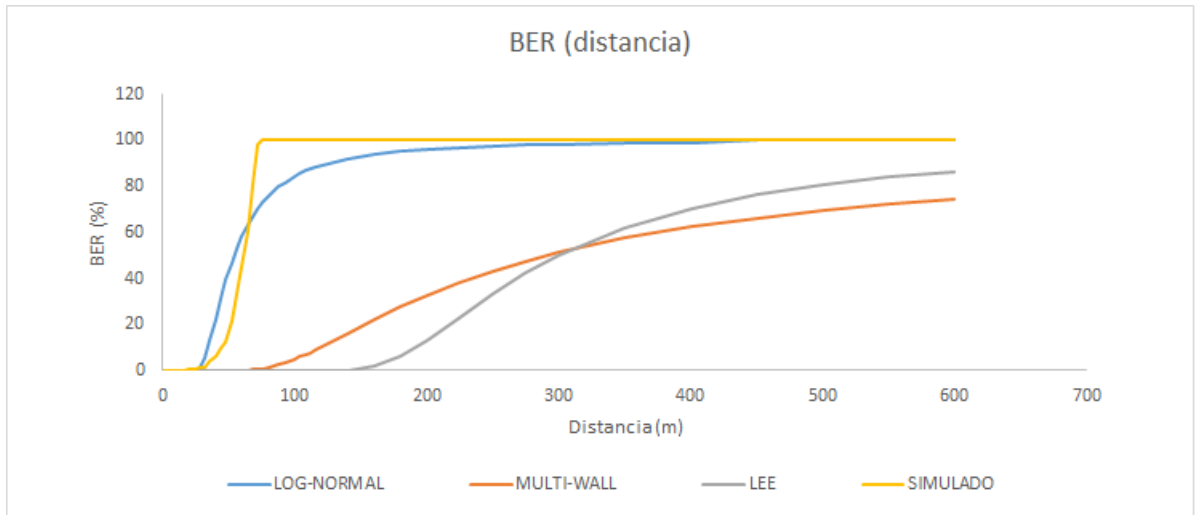
8	0,087	80	0
16	0,23	160	0
32	4,31	320	$7x10^{-5}$
36	6,03	400	$1x10^{-3}$
40	9,717	500	0,012
44	12,81	600	3,97
50	33,12	700	33,75

#### 4.4.3. Análisis Estadístico

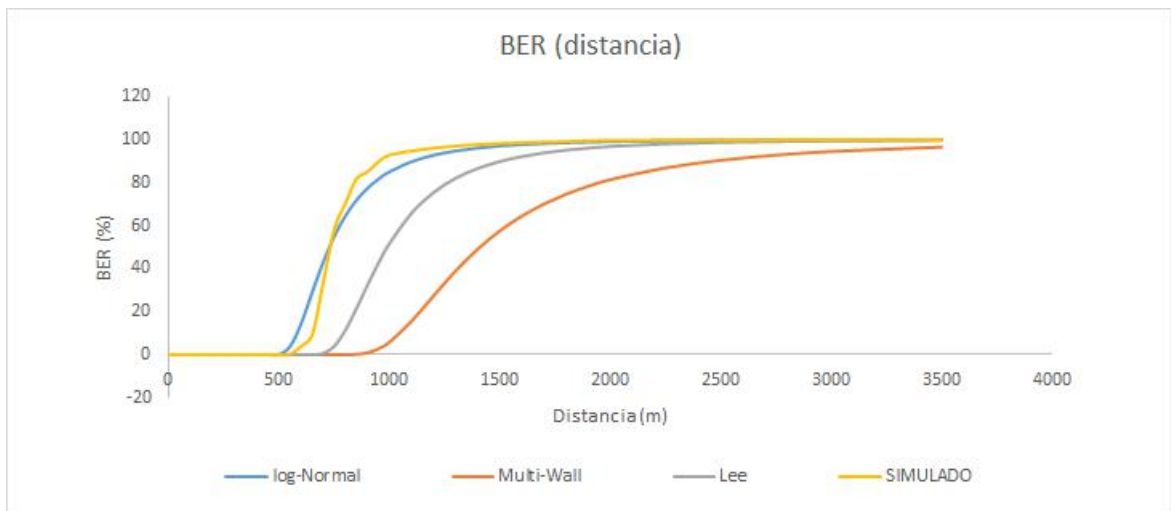
Luego de analizar los modelos de propagación mencionados con anterioridad y de la topología de la red de sensores bajo simulación, se necesita mostrar el comportamiento del BER y el Troughput mediante gráficos que faciliten la comprensión y definan el modelo de dispositivo a usarse tanto en el prototipo del presente proyecto así como en forma real en caso de implementarse el proyecto. El análisis se lo ejecuto en un entorno hostil debido a la ubicación de las luminarias en las redes de alumbrado público actuales (bajo líneas de media y baja tensión) lo que genera un ruido electromagnético que reduce notablemente la distancia efectiva de los nodos de la red.

La figura 4.7 (a) muestra el comportamiento de la tasa de bit erróneo para los transreceptores con antena integrada, mientras que la figura 4.8 (a) muestra el comportamiento de la tasa efectiva de transmisión mientras se incrementa la distancia. Estos resultados definen una distancia máxima de 30 metros aproximados en el ambiente analizado lo que hace a este modelo de transreceptor ideal para el prototipo del presente proyecto.

Mientras que analizando la figura 4.7 (b) y la figura 4.8 (b) se observa una distancia efectiva de 600 metros aproximadamente en ambientes hostiles, el motivo del incremento de la distancia se debe principalmente a las ganancias dadas por el PA, el LNA y la antena externa del NRF24l01 para largas distancias.



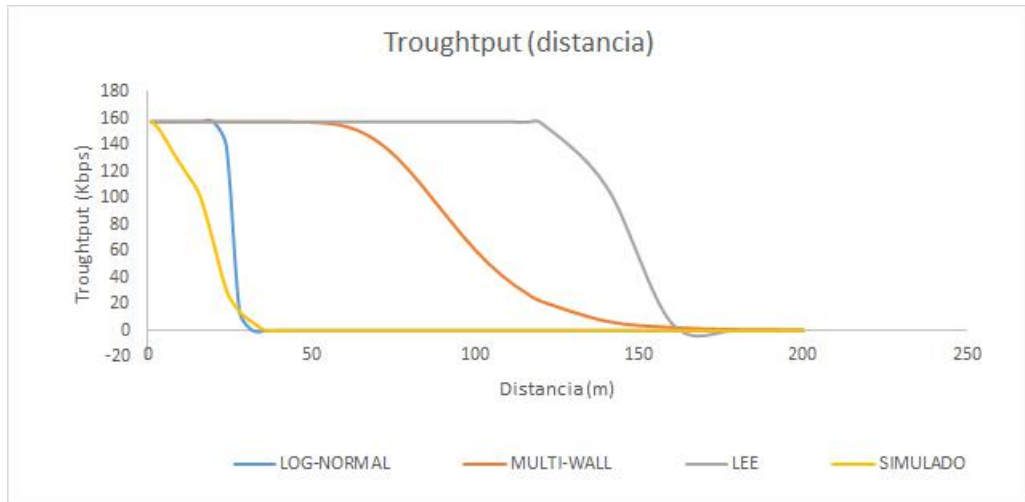
(a) BER obtenido para el dispositivo con antena integrada.



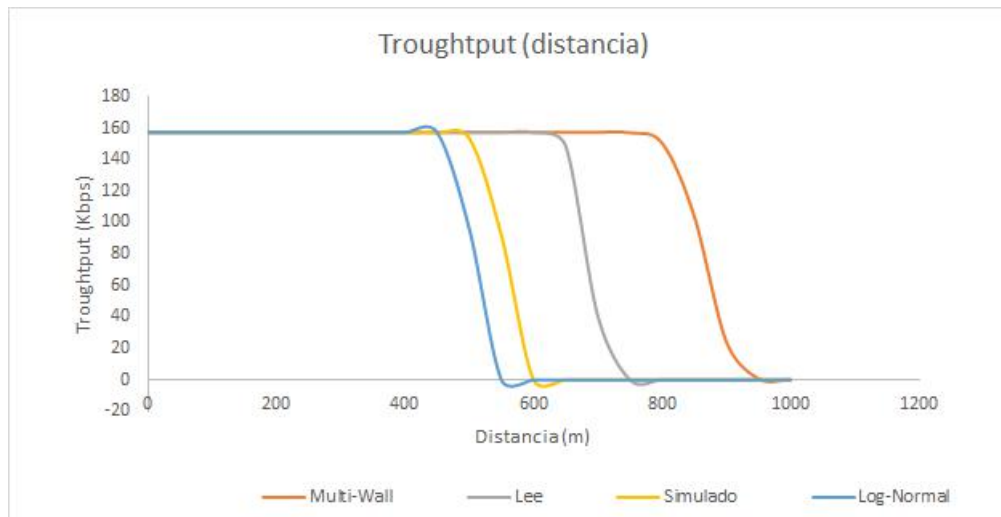
(b) BER obtenido para el dispositivo PA LNA.

Figura 4.7: Comportamiento del BER en función de la distancia para el transreceptor NRF24101.

Este dispositivo es ideal para implementar el proyecto a escala real puesto que las lámparas de alumbrado público tienen una distancia de 40 metros entre si en la zona urbana y 60 metros en la zona rural.



(a) Troughtput obtenido para el dispositivo con antena integrada.



(b) Troughtput obtenido para el dispositivo PA LNA.

Figura 4.8: Comportamiento del Troughtput en función de la distancia para el transreceptor NRF24101

#### 4.5. Adquisición y Acondicionamiento de señales

El apartado de adquisición y acondicionamiento de señales representa el núcleo de cada nodo de la red ya que son los que toman lectura de las variables analógicas con el objetivo de determinar el estado de la luminaria, por ende estas señales deben ser tratadas cuidadosamente para que el sistema tenga una alta confiabilidad y funcione adecuadamente para cumplir las necesidades del alumbrado público expuestas con anterioridad.



## Señales de Intensidad Eléctrica

En la figura 4.9 se describe el diagrama esquemático del sensor de corriente seleccionado, el cual cuenta con un sensor ACS712 interno de efecto Hall, mediante el cual la corriente que circula por la luminaria es convertida a una señal eléctrica en el rango normalizado de 0 a 5V a una razón de 85mV/A representado en la figura 4.10 por lo que el sensor no necesita etapa de acondicionamiento y a la vez, dicho sensor utiliza capacitores que estabilizan la señal de salida y la protegen del ruido electromagnético generado por la circulación de corriente en los conductores.

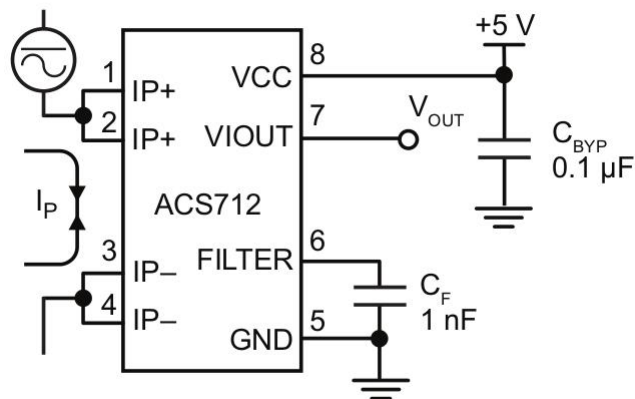


Figura 4.9: Diagrama esquemático del sensor de corriente.

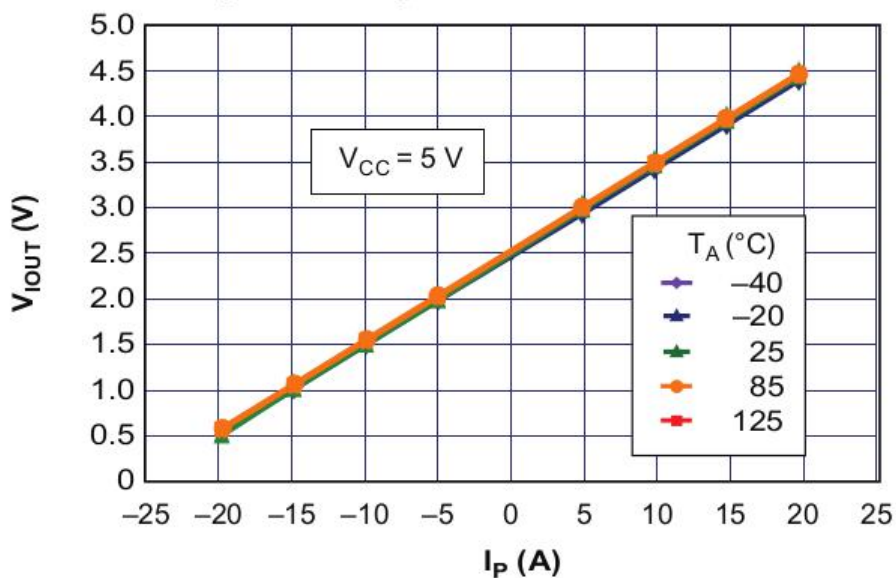


Figura 4.10: Salida de voltaje normalizado vs corriente sensada.

## Señales de iluminación del ambiente

La etapa de acondicionamiento de la señal del sensor de iluminación ambiental, se observa en la figura 4.11, este sensor esta diseñado bajo fotocelda que de acuerdo con el método de adquisición, se necesita una etapa transductora para llevar la variación de impedancia en función de los niveles de iluminación a señales de voltaje normalizados para poder ser tratada por el microcontrolador.

El nivel de iluminación del ambiente es tomado por la fotocelda la cual varia la impedancia en función del nivel de iluminación presente y que estando en serie con una resistencia auxiliar, generan un divisor de tensión que permite variar la tensión de salida y entregarla al microcontrolador para su respectivo procesamiento.

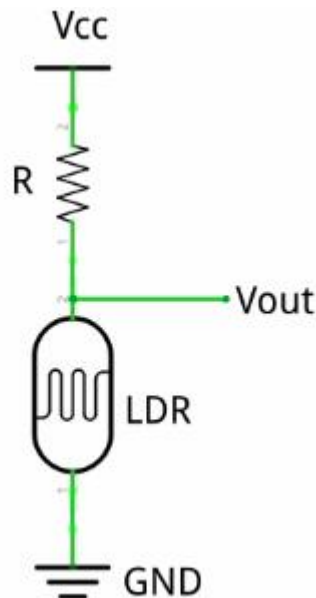


Figura 4.11: Sensor de iluminación ambiental basado en una fotocelda.

## Señales de presencia y movimiento

La etapa de acondicionamiento del sensor PIR viene diseñada por el fabricante “ver anexo D”, este tipo de sensor utiliza un acondicionamiento más elaborado porque debido a su naturaleza, detecta los cambios de radiación infrarroja presentes en el ambiente lo que hace sensar la presencia de un cuerpo. Esto lo convierte en un sensor pasivo muy preciso.

La diferencia de temperatura entre la emitida por el cuerpo humano y la del ambiente es captada por un sensor piroeléctrico el cual transforma este cambio en una señal eléctrica analógica muy débil la cual es acondicionada y filtrada

por elementos eléctricos pasivos “ver anexo D” luego mediante un controlador se digitaliza la señal obteniendo a la salida un pulso digital de determinada duración cuando algún cuerpo pasa delante del sensor.

#### **4.6. Procesamiento y envío de Variables**

La etapa de procesamiento de las señales eléctricas ya acondicionadas y entregadas por los sensores se encuentra a cargo del microcontrolador Atmega328p, el cual recibe estas señales continuas y discretas (en el caso del sensor PIR) en el tiempo, las digitaliza si es necesario para posterior envío hacia el servidor donde interviene la comunicación por RF mediante el protocolo Shockburst. Dicho proceso se muestra en forma sistemática en el diagrama de flujo de la figura 4.12 para lámparas de gases a presión y en la figura 4.13 para lámparas LED y en los anexos E y F, donde se presentan los algoritmos ligados al proceso.

#### **4.7. Entramado y transporte de información**

Como se menciona anteriormente, esta es la función del concentrador el cual reúne la los datos de cada uno de los nodos sensores y los transporta a través de TCP/IP hacia el servidor para la posterior presentación de datos. El algoritmo ligado a este proceso se encuentra detallado en forma sistemática en la figura 4.14 así como en el anexo G.

#### **4.8. Presentación de datos**

Para la presentación de los datos se ha utilizado un pagina web con subpáginas embebidas las cuales pueden ser accedidas desde cualquier dispositivo que tenga un navegador, para comodidad del usuario se ha diseñado páginas web simplificadas, concretas de contenido y amigables con el mismo que le permita tener un panorama de lo que ocurre con la red de alumbrado público.

Como se ha mencionado anteriormente, las páginas web deben proveer al usuario actualización en tiempo real del estado de cada una de las estructuras de alumbrado público por lo que, el diseño de las mismas se ha basado en lenguajes como javaScript y XML utilizando la herramienta AJAX así mismo, se ha utilizado estilos CSS que permite dar un toque atractivo a las páginas web. Las operaciones de la interfaz inician cuando el usuario (cliente) ingresa mediante una URL ([http://dirección\\_IP\\_servidor/monitoreo\\_luminarias](http://dirección_IP_servidor/monitoreo_luminarias)) donde se presenta

una pantalla de bienvenida al usuario al sistema de monitoreo y control y en la parte superior se presenta un menú con el cual se va navegando entre las diferentes funcionalidades que ofrece el sistema al usuario.

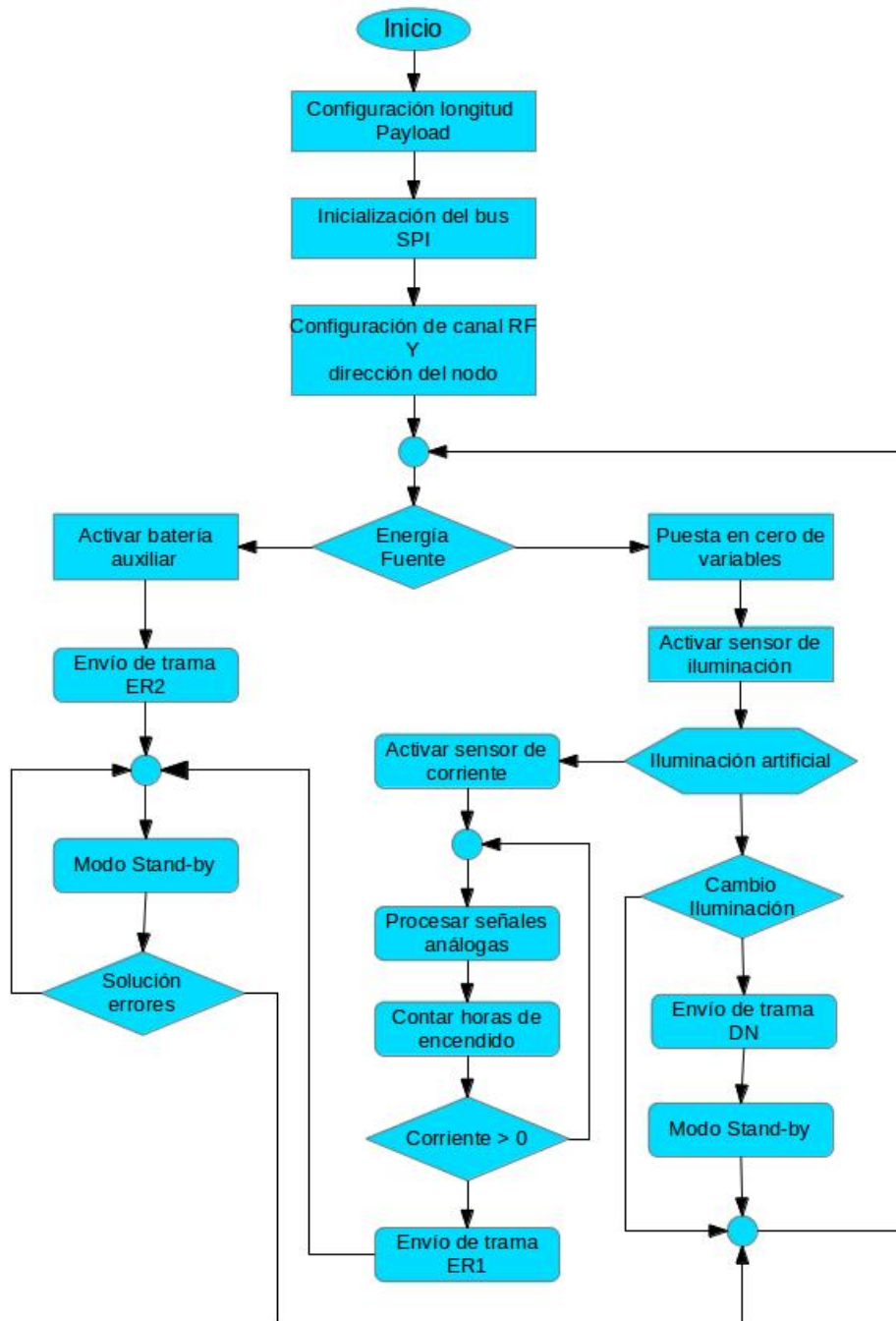


Figura 4.12: Algoritmo del nodo sensor para lámparas de gases a presión.

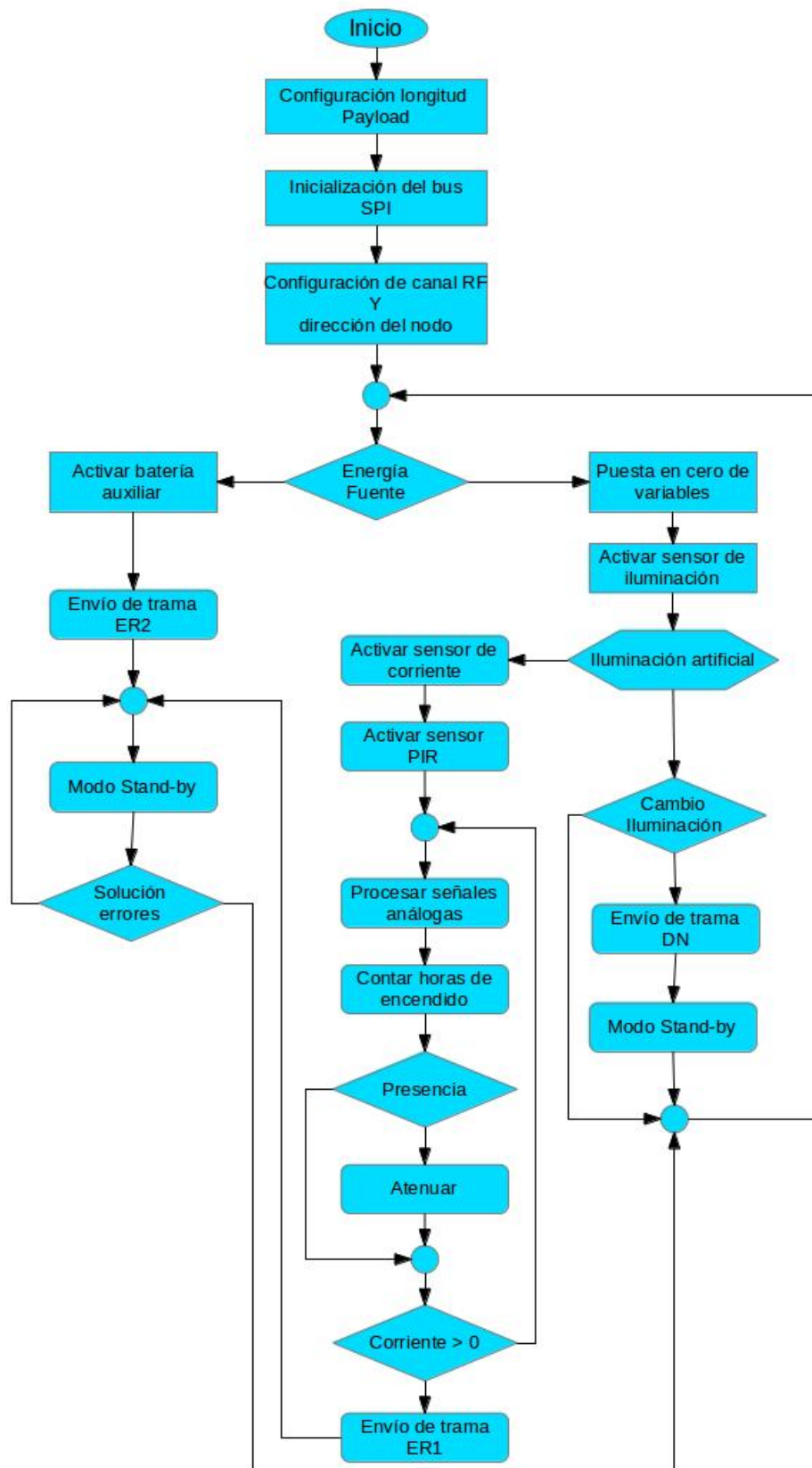


Figura 4.13: Algoritmo del nodo sensor para lámparas LED.

La primera funcionalidad permite monitorear al usuario cada una de las lámparas de forma individual y en tiempo real, así mismo genera alertas visuales al usuario cuando existe problemas de funcionamiento en alguna de ellas. Cabe recalcar que esta herramienta se ayuda de la Api de GoogleMaps ofrecida por Google Developers que permite determinar en forma exacta la ubicación de las lámparas (con longitud y latitud o con dirección exacta en caso de ambientes urbanos); El algoritmo de la funcionalidad mostrada se encuentra en la figura 4.15 así como en el anexo H.

Otra de las funcionalidades muestra las horas de encendido de cada una de las lámparas (actualización en tiempo real) así como un campo de texto donde se fija la vida útil de los diferentes tipos de lámparas, al pasar las horas dadas por el fabricante, al presentarse un fallo total de la lámpara y al existir un fallo de energía, lanzan una alarma visual que informa al usuario del problema; Así mismo presenta un botón para probar el sistema de forma asíncrona; el algoritmo ligado al proceso se encuentra detallado en el anexo I.

#### **4.9. Diseño electrónico del prototipo**

Por otro lado y haciendo referencia a los dispositivos que componen el sistema de monitoreo y control, la forma en que se conexionan se encuentra diagramado en el anexo M para lámparas de descarga de gas y en el anexo N para lámparas LED, así mismo el diseño de la PCB de cada nodo sensor se encuentra ilustrado en la figura 4.16.

Así mismo, el prototipo construido se muestra en la figura 4.17 aquí, se encuentran ubicados los nodos sensores junto a su lámpara de diferente tecnología de iluminación, presenta una conexión eléctrica individual y directa a la red de 120 VAC e interruptores auxiliares que permiten simular los fallos más comunes que se presentan en las luminarias. El nodo sensor que controla las lámparas de descarga se presenta como un fotocontrol con lo que se pretende dar facilidad al operador de reemplazar el fotocontrol tradicional por el prototipo presentado, dotándole de comunicación a cada una de las lámparas, mientras que para la tecnología LED se propone un prototipo de una lámpara inteligente que sea capaz de conectarse al sistema de monitoreo.

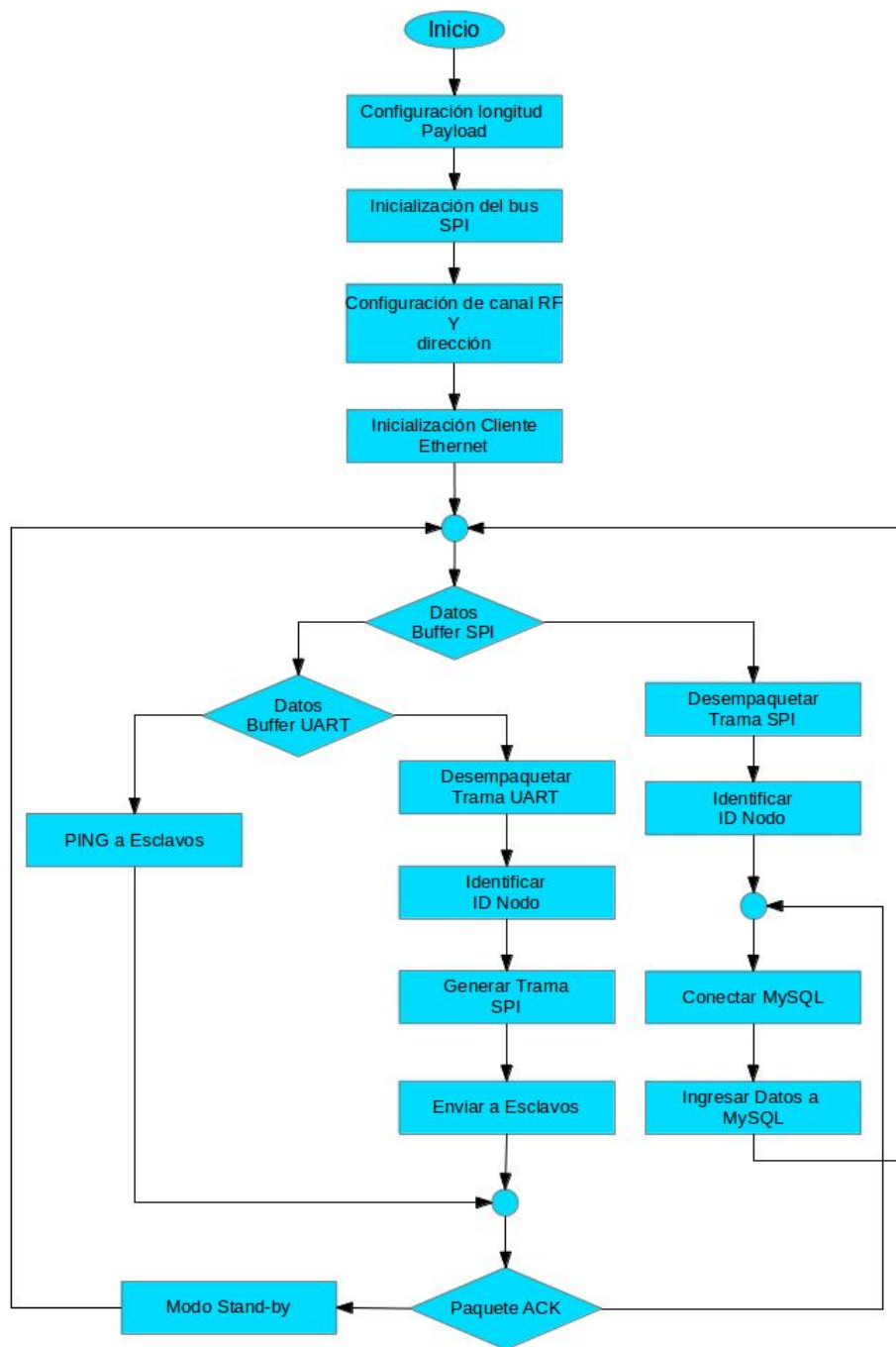


Figura 4.14: Algoritmo de entramado y transporte de información.

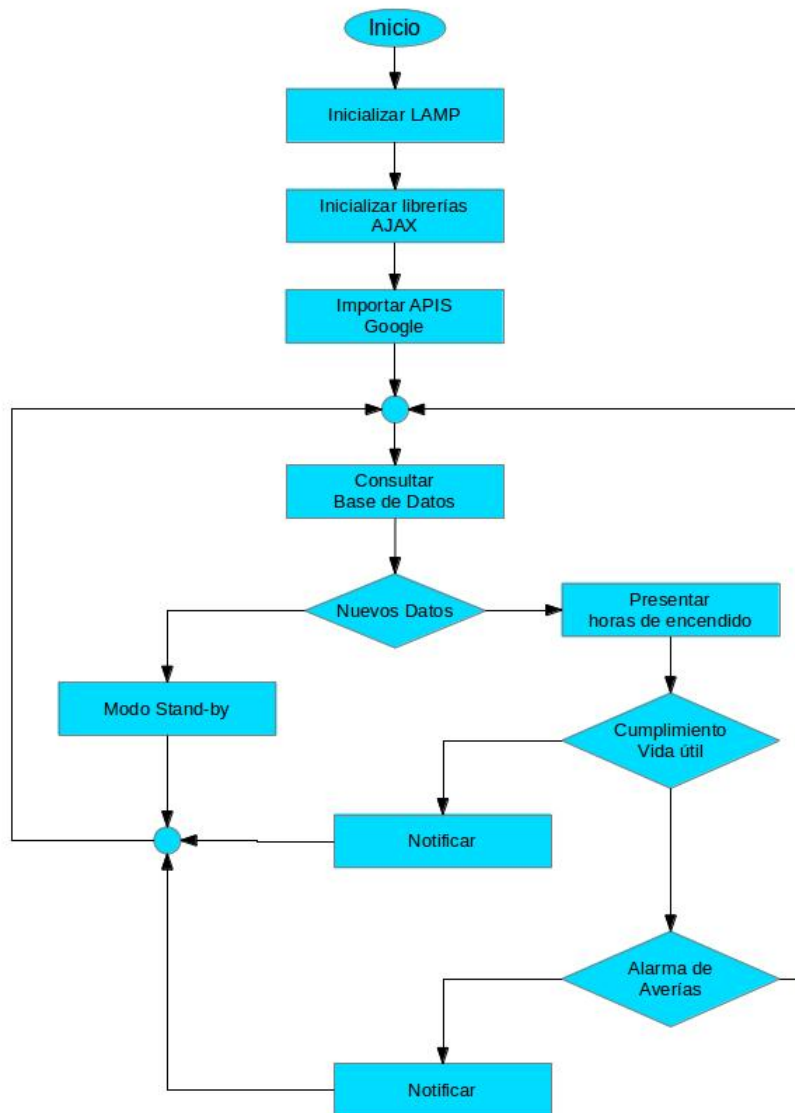
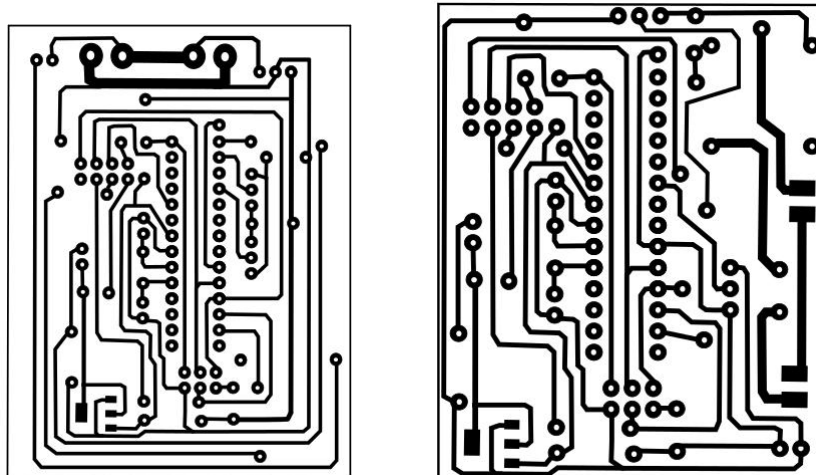


Figura 4.15: Algoritmo de almacenamiento y presentación de datos.





(a) PCB nodo sensor LED.

(b) PCB nodo sensor Gases a Presión.

Figura 4.16: PCB diseñado para los nodos sensores.



Figura 4.17: Prototipo del sistema de monitoreo y control de alumbrado público .

De esta manera se ha logrado un sistema de monitoreo eficiente que satisface todas las necesidades expuestas en el apartado anterior del planteamiento del problema. Para el caso de la red de sensores, hay sitios donde las frecuencias libres de la banda ISM se encuentran realmente interferidas y llenas de ruido por lo que al implementarla en forma real el sistema tendría problemas de comunicación, una de las ventajas de los transreceptores NRF24101 es que una parte de los canales de radiofrecuencia asignables se encuentran en bandas privadas lo que facilita el diseño ya que si un ambiente esta interferido en esta banda se puede utilizar parte de la banda privada; la desventaja, el elevado costo de implementación y mantenimiento

ya que están bandas poseen un valor comercial asignado en función del país en el que se requiere el sistema.

#### 4.10. Análisis Económico

En el presente apartado se analiza los costos de implementación del sistema propuesto en el presente proyecto de titulación así como un análisis predictivo de los beneficios que proporcionara el sistema si es implementado de manera real en las instalaciones de alumbrado público.

##### 4.10.1. Costos del proyecto implementado

Como en apartados anteriores el detalle de costos esta definido por las etapas que componen el prototipo del presente proyecto tal como se muestra a continuación.

Tabla 4.18: Detalle de costos en la etapa de la red de sensores para lámparas de descarga.

Nodo sensor lámparas de descarga		
Dispositivo	Costo Unitario	Costo Total 3U
Sensor de Corriente ACS712	10	30
Microcontrolador ATmega328p DIP	3.5	10.5
Relee 5V	0.5	1.5
Transreceptor NRF24l01	4.5	13.5
Transistor Digital	0.65	1.95
Zócalos	1	3
Fuente Conmutada 5V/1A	3	9
Regulador LM1117	0.5	1.5
PCB	3.5	10.5
Fotocelda	0.5	1.5
Resistencias	0.4	1.2
Foco	1.5	4.5
Total	29.55	88.65

El prototipo consta de 3 nodos con lamparas de descarga obteniendo un total de \$88.65 para esta subred, el detalle de costos se encuentra en la tabla 4.18. Mientras que para lámparas LED se obtiene un coste total de \$82.8 para una subred de 2 nodos mostrado en la tabla 4.19.

Tabla 4.19: Detalle de costos en la etapa de la red de sensores para lámparas LED.

Nodo sensor lámparas LED		
Dispositivo	Costo Unitario	Costo Total 2U
Sensor de Corriente ACS712	10	20
Microcontrolador ATmega328p DIP	3.5	7
Driver Mosfet	7.5	15
Transreceptor NRF24l01	4.5	9
Sensor PIR	4.5	9
Zócalos	1	2
Fuente Conmutada 5V/1A	3	6
Regulador LM1117	0.5	1
PCB	3.5	7
Fotocelda	0.5	1
Resistencias	0.4	0.8
Foco	2.5	5
Total	41.4	82.8

Toda la red de sensores implementada en el prototipo necesita un concentrador de datos (Gateway), los costos ligados al mismo se muestra en la tabla 4.20.

Tabla 4.20: Detalle de costos para el concentrador de datos del prototipo.

Concentrador de datos (Gateway)	
Dispositivo	Costo/subred
Arduino uno R3	15
NRF24l01	4.5
Shield Ethernet	15
Fuente AC/DC 12V 2A	5
Punto de Acceso	20
Cable de red	1
Total	60.5

Los costos del servidor para el alojamiento de las páginas de presentación de datos se muestran en la tabla 4.21.

Tabla 4.21: Detalle de Costos servidor de monitoreo.

Dispositivo	Costo/subred
-------------	--------------

Raspberry Pi 2 B+	65
Cable de red	1
Memoria SD clase 10/8GB	12
Maqueta	25
Total	103

El proyecto tiene un costo total de implementación de \$334,95 utilizando costos manejados dentro de Ecuador en tiendas de electrónica.

#### 4.10.2. Análisis de los costos de implementación y recuperación de la inversión.

Todo proyecto de inversión a nivel empresarial se acostumbra a fijarse el valor actual neto VAN, de esta forma, si este valor del proyecto de inversión analizado es positivo indica que el proyecto generara utilidades más allá del retorno del capital. La tasa interna de retorno TIR expresa la tasa de descuento que iguala el valor actualizado de los flujos de fondos netos obtenidos de la inversión de un proyecto, un proyecto con una TIR Mayor al 10 % presenta una inversión interesante para las empresas pero al mismo tiempo una TIR Mayor, supone un Mayor plazo temporal en la vida del proyecto lo que provoca incertidumbre, lo que no conviene a los inversionistas.

Tabla 4.22: Costo de mantenimiento de un sector.

Materiales			
Cantidad	Descripción	Costo unitario	Costo total
0	Balastro	32.35	-
1	Ignitor	10.69	10.69
7	Fotocelda	6.76	47.32
1	Foco 100 W	12.31	12.31
4	Foco 150 W	13.07	52.28
1	Foco 250 W	19.46	19.46
Mano de Obra			
21	Mantenimiento Preventivo por luminaria	16.13	338.73
10	Mantenimiento correctivo hasta 150W	16.13	161.3
1	Mantenimiento correctivo hasta 400W	16.13	16.13
Costos Indirectos de Fabricación			
1	Depreciación de herramientas	1	1

Costo Total por mantenimiento	659.22
-------------------------------	--------

En la tabla 4.22 se observa que existe un mantenimiento preventivo a todas las lámparas de un sector (32 en total), muchas de las cuales no han sido reparadas lo que significa que se produjo un desperdicio de recursos. En la tabla 4.23 se observa que no existen costos de mantenimiento preventivo.

Tabla 4.23: Costo de mantenimiento utilizando el sistema propuesto.

Materiales			
Cantidad	Descripción	Costo unitario	Costo total
0	Balastro	32.35	-
1	Ignitor	10.69	10.69
7	Fotocelda Inteligente	6.76	47.32
1	Foco 100 W	12.31	12.31
4	Foco 150 W	13.07	52.28
1	Foco 250 W	19.46	19.46
Mano de Obra			
0	Mantenimiento Preventivo por luminaria	16.13	-
10	Mantenimiento correctivo hasta 150W	16.13	161.3
1	Mantenimiento correctivo hasta 400W	16.13	16.13
Costos Indirectos de Fabricación			
1	Depreciación de herramientas	1	1
Costo Total por mantenimiento			483.17

Las tablas anteriores muestran el ahorro de recursos proporcionado por el sistema de monitoreo y control del alumbrado público, debido a que se eliminan las inspecciones periódicas de las lámparas y solo se actúan en las que se necesitan realizar un mantenimiento correctivo.

Según el reporte de CNEL EP Unidad de Negocios Bolívar cuenta con 11665 lámparas instaladas de las cuales se han reparados en toda la provincia con un total de 1500 lámparas aproximadamente en el año 2015 [40], se revisan todas las lámparas del sector por lo que el desperdicio de recursos se evidencia en la revisión de las lámparas en buen estado.

CNEL EP Unidad de Negocios Bolívar para implementar el sistema, requiere una inversión inicial de:

$$Inv = N_{lámparas} * \$_{nodo} = 11665[lámparas] * \$29,85 = \$348,200,25$$

Para determinar la factibilidad del proyecto a implementarse se procedió a analizar el costo de inversión inicial con los costos de mantenimiento anuales, este análisis esta representado en la figura 4.18. En la tabla 4.24 se muestran los costos de la inversión inicial, los costos actuales de mantenimiento y los recursos que ahorrara el sistema con lo que se determina el tiempo de recuperación de la inversión.



Figura 4.18: Comparación entre costos de mantenimiento actual y propuesto.

Para que un proyecto sea factible implementarlo, se requiere que tenga una tasa interna de retorno Mayor al 10 %, según el análisis de los rubros de la tabla 4.24se obtuvo una TIR del 29 % lo que garantiza la factibilidad del proyecto.

Tabla 4.24: Análisis de parámetros de factibilidad del proyecto.

Mantenimientos y ahorro de recursos			
Años	Propuesto	Real	Ahorro
0	348,200.48	180,924.15	-167276.1
1	23265	180,924.15	157659.15
2	23265	180,924.15	157659.15
3	23265	180,924.15	157659.15
4	23265	180,924.15	157659.15
VAN			\$282.436,35
TIR			29%





Figura 4.20: Presentación de horas de encendido transcurridas por luminaria.

La presentación de los datos de potencia consumida por las lámparas según la tecnología de iluminación utilizada se muestra en la figura 4.21, la gráfica proporciona datos reales monitoreados por los nodos sensores lo cual permite tomar decisiones acertadas para el mejoramiento del alumbrado público.



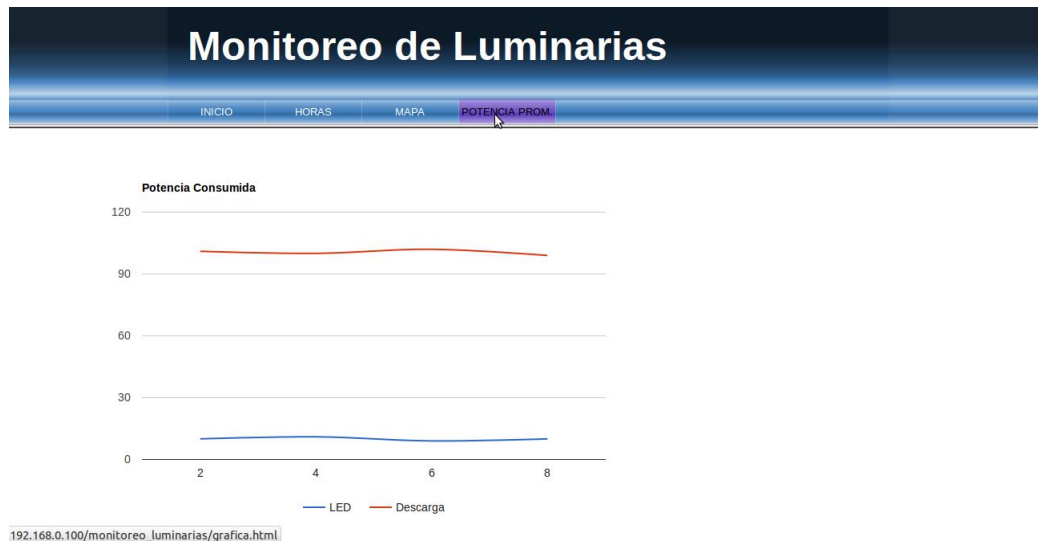


Figura 4.21: Gráfica de potencia consumida por tecnología de iluminación.

Finalmente para culminar el análisis se procede con la fuente de energía independiente (pila), la cual alimenta al dispositivo en caso de fallos de energía en el poste de alumbrado público. Tomando en cuenta el consumo del modulo de 12mA y del uC de 8mA se calcula la vida útil de las baterías según DigikeyElectronics y su ecuación

$$V_{\text{útil}} = \frac{Carga(mA)}{I_{\text{carga}}(mA)} * 0,70 \quad (11.3)$$

$$V_{\text{útil}} = \frac{750mA}{20mA} * 0,70 = 26,25H \quad (11.4)$$

La batería tiene una autonomía de 26,25 horas por lo que la duración de la misma dependerá de la frecuencia de los apagones así como la duración de los mismos.

## CAPÍTULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1. Conclusiones

Al culminar el presente proyecto se obtuvieron las siguientes conclusiones:

- Los parámetros técnicos tales como vida útil, potencia de los focos, eficacia de las fuentes de luz y el consumo de energía analizados en el presente proyecto, proporcionaron una visión más amplia de las variables que se necesitan monitorear dentro de las instalaciones de alumbrado público. Fue necesario establecer un sistema de monitoreo para monitorear: las horas de encendido de los focos a fin de determinar el cumplimiento de su vida útil, la energía consumida lo que define la eficacia de la fuente de luz y si el foco se encuentra en funcionamiento, el nivel de iluminación del ambiente para definir el periodo de encendido del alumbrado público.
- Las lámparas de alumbrado público se encuentran distribuidos a lo largo de calles y avenidas, los postes que las sostienen se distancian entre ellos: 40 metros en la zona urbana y 60 metros en zonas rurales, donde se define que se necesita una red pseudomesh para dar comunicación a los nodos sensores, esta topología se forma de subredes punto multipunto en diferente jerarquía desde el nodo central o Gateway, pasando por los coordinadores de red hasta llegar a los nodos esclavos, permitiendo una red eficiente que evita el paso de paquetes de información por caminos innecesarios en la comunicación con el Gateway.
- Muchos dispositivos con la capacidad de formar redes de sensores inalámbricos operan en la banda ISM (desde 2.4 GHz hasta 2.483 GHz) por lo que en ambientes con alta interferencia por radiación de equipos en la misma frecuencia hace imposible la implementación de estas topologías. El transreceptor NRF24l01 utilizado en el proyecto puede transmitir en 125

canales de frecuencia diferente que va desde 2.4 GHz hasta los 2.525 GHz lo que permite que sean ideales en ambientes hostiles. Modelos matemáticos de propagación como el Log-Normal, predice una distancia efectiva de 550 metros aproximadamente operando bajo las redes eléctricas de media y baja tensión y en circunstancias de interferencia por radiación en la misma frecuencia se puede operar en parte de la banda licenciada, lo que eleva el costo de implementación y de mantenimiento del sistema al mismo tiempo garantiza la funcionalidad de la infraestructura implementada.

- Sistemas de presentación de datos pueden ser implementados bajo software soportado por empresas, en la Mayoría de los casos proporcionan herramientas para crear potentes sistemas y son de origen privativo lo que impide al desarrollador modificar las herramientas a sus necesidades. El software soportado por comunidades alrededor del mundo son de carácter libre facilitando al desarrollador la modificación del mismo. El presente proyecto esta basado en las Aplicaciones de Google para Desarrolladores las cuales son gratuitas, de código abierto y soportada por la misma empresa y por una comunidad muy grande alrededor del mundo; a través de MAPS se desarrolló el sistema de monitoreo en tiempo real donde el operador identifica la ubicación exacta de las lámparas y el diagnostico correspondiente, AJAX para implementar un sistema de monitoreo de las horas de encendido de las lámparas. Además mediante la librería para formar PDFs de php se genera un reporte de las lámparas diagnosticadas como falladas.
- Uno de los puntos débiles de las redes eléctricas es la posibilidad de que se produzca apagones, estos dejarían a la red de sensores sin comunicación, en el presente proyecto se complemento cada nodo sensor con un respaldo de energía mediante una pila CR2032 lo que garantiza el funcionamiento de la red de sensores en fallas de energía y proporcionan al usuario una alerta ante este evento.

## 5.2. Recomendaciones

- Para el diseño de sistemas que controlen las estructuras de distribución de energía eléctrica se debe tomar en cuenta las tecnologías ya instaladas y verificar si el nuevo sistema es compatible para evitar la migración masiva y evitar gastos innecesarios en estructuras nuevas.
- Los sistemas de monitoreo y control de alumbrado público deben ser diseñados con tecnologías que trabajen en ambientes hostiles debido a la naturaleza del sistema y la ubicación de sus componentes.
- Las interferencias eléctricas o inestabilidad en la lectura de sensores analógicos se reducen con el uso de filtros electrolíticos, permitiendo obtener una señal más estable y lineal.
- Evitar la manipulación de ciertos dispositivos basados en tecnología MOS ya que la energía estática daña el dispositivo.
- Implementar sistemas de respaldo en redes de sensores permite un permanente funcionamiento aumentando la confiabilidad del sistema de comunicaciones.

## Bibliografía

- [1] J. Rodríguez, "Guía de Gestión Energética en el Alumbrado Público", Fundación de Energía de la Comunidad de Madrid, 2012. [Online]. Disponible: <https://www.fenercom.com/>. [Accessed: 26- Oct- 2016].
- [2] R. Davidson, "Alumbrado Público y Seguridad Comunitaria", Pacific Institute, 2013. [Online]. Available: [http://pacinst.org/app/uploads/2013/02/alumbrado\\_público3.pdf](http://pacinst.org/app/uploads/2013/02/alumbrado_público3.pdf). [Accessed: 26- Oct- 2016].
- [3] Alberto Toma Franco, "La revolución del Alumbrado Público", CELEC EP. artículo de revista. Guayaquil. 2012 (12): 1-3 en Ecuador.
- [4] Ulloa Bambino, P. S., Calderón, Q., Fernanda, M., Mera Gencon, C., & Pacheco Gavilanes, V. H. (2013). Conservación y administración de la energía eléctrica en el sector de alumbrado público de Guayaquil.
- [5] Consejo Nacional de Electricidad. Regulación No. CONELEC 008/11. Quito (2011).
- [6] Proyecto Tvlight, Chintan Shah, artículo WEB. 2013: 1-3 en Holanda. Disponible en: <http://mosingenieros.com/>.
- [7] R. B. Panguloori and P. Mishra, "Analysis on system sizing and secondary benefits of centralized PV street lighting system," Power and Energy Systems Conference: Towards Sustainable Energy, 2014, Bangalore, 2014, pp. 1-6.
- [8] Jose Manuel Chacho Gomez, Paul Emilio SotoMayor Solis, Nelson David Delgado Quiñonez, "Diseño e Implementación de un Sistema Automático de Alumbrado público Inteligente controlado via Wireless en la casa Don Bosco de Guayaquil", Guayaquil, Universidad Politécnica Salesiana, Proyecto de Titulación. 2013: 40-60 en Ecuador.

- [9] Pedro Francisco Chantera Abarca, Daniel Ricardo Tobar Estrella. Estudio de Lámparas LED para el Alumbrado Público y Diseño de un Sistema SCADA con Control Automático ON/OFF. Proyecto previo a la obtención del título de Ingeniería Eléctrica. Universidad Politécnica Salesiana Sede Quito. 2013, (04): 12-24.
- [10] S. Kumar, A. Deshpande, S. S. Ho, J. S. Ku and S. E. Sarma, "Urban Street Lighting Infrastructure Monitoring Using a Mobile Sensor Platform," in IEEE Sensors Journal, vol. 16, no. 12, pp. 4981-4994, June 15, 2016.
- [11] Carlos Luis Vargas Guevara. Control Inteligente de Iluminación Fotovoltaica para Autopistas en Ecuador, Proyecto de Titulación Universidad Técnica de Ambato. 2015 (10): 15-50, en Ecuador.
- [12] Jose Soto Noboa, Fernando Barrera Robayo. Desarrollo de un Sistema Inteligente de Gestión de Alumbrado público en el Campus de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil. Proyecto de Titulación. 2013: 25-40 en Ecuador.
- [13] C. W. Yang, E. Nefedov, S. Sierla and P. Flikkema, "Vehicle and pedestrian aware street lighting automation," 2015 IEEE 13th International Conference on Industrial Informatics (INDIN), Cambridge, 2015, pp. 1269-1274.
- [14] P. N. Zanjani, M. Bahadori and M. Hashemi, "Monitoring and remote sensing of the street lighting system using computer vision and image processing techniques for the purpose of mechanized blackouts (development phase)," Electricity Distribution (CIRED 2013), 22nd International Conference and Exhibition on, Stockholm, 2013, pp. 1-4.
- [15] N. Yoshiura, Y. Fujii and N. Ohta, "Smart street light system looking like usual street lights based on sensor networks," Communications and Information Technologies (ISCIT), 2013 13th International Symposium on, Surat Thani, 2013, pp. 633-637.
- [16] A. Lavric, V. Popa and S. Sfichi, "Street lighting control system based on large-scale WSN: A step towards a smart city," Electrical and Power Engineering (EPE), 2014 International Conference and Exposition on, Iasi, 2014, pp. 673-676.

- [17] B. C. Mishra, A. S. Panda, N. K. Rout and S. K. Mohapatra, "A Novel Efficient Design of Intelligent Street Lighting Monitoring System Using ZigBee Network of Devices and Sensors on Embedded Internet Technology," 2015 International Conference on Information Technology (ICIT), Bhubaneswar, 2015, pp. 200-205.
- [18] D. Perez, "Powerline," 2002, Curso de Doctorado 2001-2002, España, pp. 3-5.
- [19] Enarlux, "¿Qué importancia tiene el alumbrado público?", Enarlux, 2015. [Online]. Available: <http://enarlux.com/es/que-importancia-tiene-el-alumbrado-público-2/>.
- [20] Enel, "Alumbrado Público", Eneldistribucion.pe, 2016. [Online]. Available: <http://www.eneldistribucion.pe/>.
- [21] at4.net internet y comunicación, "Alumbrado público - Tecnologías eficientes", Caib.es, 2015. [Online]. Available: <http://www.caib.es/>.
- [22] J. García, "Lámparas de descarga", Recursos.citcea.upc.edu. [Online]. Available: <http://recursos.citcea.upc.edu/llum/lámparas/ldesc1.html>.
- [23] Nodalis, "Redes malladas mesh wifie Internet", Nodalis.es, 2016. [Online]. Available: <http://www.nodalis.es/>. [Accessed: 30- Oct- 2016].
- [24] El Andador INC., "Enlaces Inalambricos", Elandadorinc.net, 2016. [Online]. Available: <http://elandadorinc.net/enlaces/enlaces-inalambricos.html>. [Accessed: 31- Oct- 2016].
- [25] National Instruments. Redes de Sensores Inalambricos y Aplicaciones. Artículo de Página Web. 2009 (04). Disponible en: <http://www.ni.com/white-paper/7142/es/#toc1>
- [26] T. Ramadhan, "Eficiencia y ahorro energético", Rescompass.org, 2009. [Online]. Available: <http://www.rescompass.org/>.
- [27] D. Dólera, "Rendimiento de los protocolos IEEE 802.15.4 en entornos ruidosos", Universidad Politécnica de Catalunya, 2010.
- [28] Ecured, "Hardware libre", Ecured.cu, 2016. [Online]. Available: [https://www.ecured.cu/Hardware\\_libre](https://www.ecured.cu/Hardware_libre).

- [29] A. García y K. Navarro, "¿Qué es Arduino y para qué se utiliza?", Panama Hitek, 2016. [Online]. Available: <http://panamahitek.com/que-es-arduino-y-para-que-se-utiliza/>.
- [30] J. Pastor, "Raspberry Pi", Xataka.com, 2016. [Online]. Available: <https://www.xataka.com/tag/raspberry-pi>.
- [31] D. Gascón, "Dispositivos inalámbricos, ¿cómo conviven?", Blogs.heraldo.es, 2010. [Online]. Available: <http://blogs.heraldo.es/ciencia/?p=1417>.
- [32] Techmake, "Módulo transceptor inalámbrico nRF24L01+ 2.4GHz RF - TechMake Electronics", Techmake.com, 2016. [Online]. Available: <http://www.techmake.com/00030.html>. [Accessed: 31- Oct- 2016].
- [33] Electronilab, "Módulo Transceptor RF nRF24L01+ 2.4 Ghz con Antena SMA - Electronilab", Electronilab.co, 2016. [Online]. Available: <http://electronilab.co/>. [Accessed: 31- Oct- 2016].
- [34] Nordic Semiconductor, "Preliminary Product Specification of NRF24L01 v1.0", sparkfun, 2008. [Online]. Available: <https://www.sparkfun.com/>.
- [35] Digitalguide, "Servidor LAMP, la solución para webs dinámicas", 1&1 Digitalguide, 2017. [Online]. Available: <https://www.1and1.es/>. [Accessed: 21- Jan- 2017].
- [36] D. Chaparro, LAMP: Linux, Apache, MySQL y PHP/Perl, 1st ed. Creative Commons Attribution- ShareAlike, 2006, pp. 1-5.
- [37] L. Rivera, "Análisis comparativo de parámetros generales entre las lámparas de alumbrado público", Monografias.com, 2011. [Online]. Available: <http://www.monografias.com/>.
- [38] ARCONEL, Costo del servicio de alumbrado público general, 1st ed. Ecuador: ARCONEL, 2015, p. 1.
- [39] Farolas de LED, "Tabla de equivalencias LED frente a otras iluminaciones", 2015. [Online]. Available: <http://www.farolasdeled.com/tabla-de-equivalencias/>.



[40] Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energías Renovables, "Alumbrado Público en el Ecuador", 2012. Disponible en: <http://www.iner.gob.ec/>.

# **ANEXOS**



## Anexo A

### Costos de las estructuras de alumbrado público utilizados por CNEL EP Unidad de Negocio Bolívar

PRECIOS UNITARIOS DE MAND DE OBRA PARA DISTRIBUCIÓN									
Nro.	Descripción	Unidad	FACTORES DE RETIRO	2016		2017			Observación
				Instalación	Retiro	Instalación	Retiro	Instalación	
<b>MONTAJE DE EQUIPOS - LUMINARIAS</b>									
105	INSTALACIÓN DE LUMI	c/u	1	16.64	16.64	-	17.31	17.31	
106	INSTALACIÓN DE LUMI	c/u	1	18.49	18.49	-	19.23	19.23	
107	INSTALACIÓN DE LUMI	c/u	1	20.34	20.34	-	21.15	21.15	
<b>MANTENIMIENTO DE LUMINARIAS</b>									
108	CAMBIO DE FOTOCELL	c/u		9.07	-		-	9.43	
109	CAMBIO DE FOTOCELL	c/u		11.45	-		-	11.91	
110	MANTENIMIENTO DE LUMINARIA HASTA 150 VATIOS	c/u		15.51	-		-	16.13	
111	MANTENIMIENTO DE LUMINARIA HASTA 400 VATIOS	c/u		18.13	-		-	18.86	

PRECIOS UNITARIOS DE MATERIALES PARA DISTRIBUCIÓN				
Nro.	Descripción	Unidad	COSTO UNITARIO 2016	COSTO UNITARIO 2017
181	Luminaria con lámpara de alta presión Na de 70W potencia constante, con brazo para montaje en poste, 240/120V, autocontrolada	c/u	107.72	112.03
182	Luminaria con lámpara de alta presión Na de 100W potencia constante, con brazo para montaje en poste, 240/120V, autocontrolada	c/u	122.01	126.89
183	Luminaria con lámpara de alta presión Na de 150W potencia constante, con brazo para montaje en poste, 240/120V, autocontrolada	c/u	138.47	144.01
184	Luminaria con lámpara de alta presión Na de 150W doble nivel de potencia, con brazo para montaje en poste, 240/120V	c/u	157.22	163.51
185	Luminaria con lámpara de alta presión Na de 250W doble nivel de potencia, con brazo para montaje en poste, 240/120V	c/u	165.95	172.59
186	Luminaria con lámpara de alta presión Na de 400W doble nivel de potencia, con brazo para montaje en poste, 240/120V	c/u	188.50	196.04
187	Base de Alumbrado Público	c/u	71.79	74.66
188	FOTOCELULA 10V/20V	c/u	6.76	7.03
189	FODD 250W/240V Na	c/u	19.46	20.24
190	FODD 150W/240V Na	c/u	13.07	13.59
191	FODD 100W/240V OSRAM	c/u	11.84	12.31
192	HALASTRO 250W/240V	c/u	31.11	32.35
193	INIECTORES DE SUPERPOSICIÓN 85-100W	c/u	9.38	9.76
194	INIECTORES DE SUPERPOSICIÓN 70-100W	c/u	10.28	10.69
195	INIECTORES DE SUPERPOSICIÓN 100-130W	c/u	16.07	16.71
196	BASE PARA FOTOCELULA	c/u	3.90	4.06

## Anexo B

### Ejemplo de Topología NRF24L01 Punto - Multipunto

#### 7.7 MultiCeiver™

MultiCeiver™ is a feature used in RX mode that contains a set of six parallel data pipes with unique addresses. A data pipe is a logical channel in the physical RF channel. Each data pipe has its own physical address (data pipe address) decoding in the nRF24L01+.

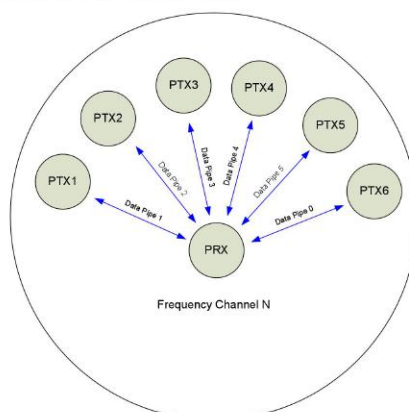


Figure 10. PRX using MultiCeiver™

nRF24L01+ configured as PRX (primary receiver) can receive data addressed to six different data pipes in one frequency channel as shown in [Figure 10](#). Each data pipe has its own unique address and can be configured for individual behavior.

Up to six nRF24L01+s configured as PTX can communicate with one nRF24L01+ configured as a PRX. All data pipe addresses are searched for simultaneously. Only one data pipe can receive a packet at a time. All data pipes can perform Enhanced ShockBurst™ functionality.

The following settings are common to all data pipes:

- CRC enabled/disabled (CRC always enabled when Enhanced ShockBurst™ is enabled)
- CRC encoding scheme
- RX address width
- Frequency channel
- Air data rate
- LNA gain

The data pipes are enabled with the bits in the `EN_RXADDR` register. By default only data pipe 0 and 1 are enabled. Each data pipe address is configured in the `RX_ADDR_PX` registers.

**Note:** Always ensure that none of the data pipes have the same address.

## Anexo C

### Ejemplo de direccionamiento NRF24L01

nRF24L01+ Preliminary Product Specification



The PRX, using MultiCeiver™ and Enhanced ShockBurst™, receives packets from more than one PTX. To ensure that the ACK packet from the PRX is transmitted to the correct PTX, the PRX takes the data pipe address where it received the packet and uses it as the TX address when transmitting the ACK packet. [Figure 12](#), is an example of an address configuration for the PRX and PTX. On the PRX the RX\_ADDR\_Pn, defined as the pipe address, must be unique. On the PTX the TX\_ADDR must be the same as the RX\_ADDR\_P0 and as the pipe address for the designated pipe.

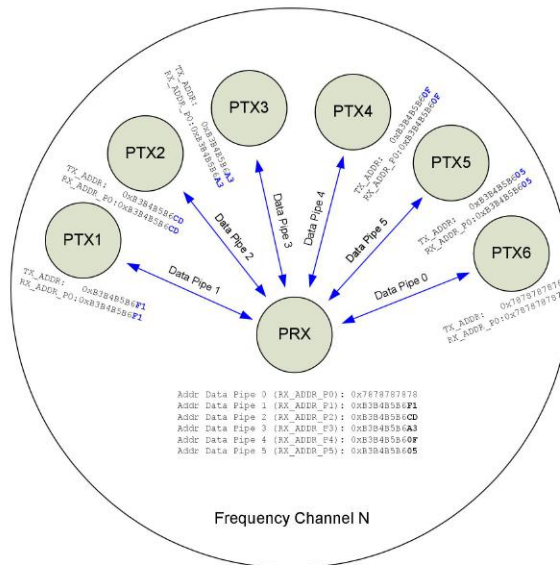
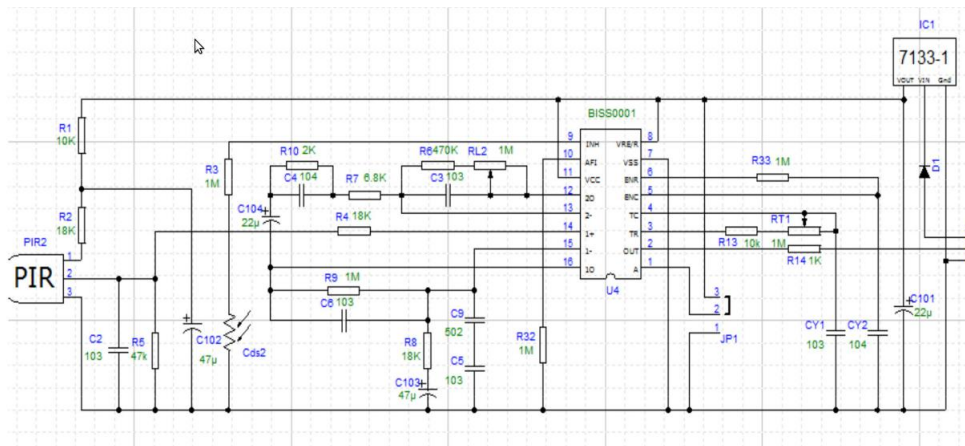


Figure 12. Example of data pipe addressing in MultiCeiver™

Only when a data pipe receives a complete packet can other data pipes begin to receive data. When multiple PTXs are transmitting to a PRX, the ARD can be used to skew the auto retransmission so that they only block each other once.

## Anexo D

### Diagrama esquemático del sensor PIR HC-SR501



## Anexo E

Algoritmo programado en cada uno de los nodos sensores para lámparas de descarga.

```
#include "RF24Network.h"
#include "RF24.h"
#include <SPI.h>

////////// estructura de trama a transmitir //////////
struct data_to_send{ unsigned nodo;
unsigned alarmas;
unsigned vida_util;
unsigned potencia; }enviar;

////////// estructura de trama a recibir //////////
struct data_received{ unsigned habilitar = 0;}confirm;

////////// Configuración NRF24l01 //////////
RF24 radio(3, 10);
RF24Network rf24Net(radio);
const uint64_t este_nodo = 01; // ID esclavo
const uint64_t maestro = 00; // ID maestro

////////// Variables //////////
float leer_luz, contar_tiempo_encendido=0, Sensibilidad=0.055,offset=0.1;
int umbral_luz_1=200, umbral_luz_2=1000, cambio=0, inicio=0, en=0, ena=0,
ID=1;

////////// Configuración del nodo sensor //////////
```



```

void setup(void){
Serial.begin(9600);
analogReference(EXTERNAL);
SPI.begin();
radio.begin();
rf24Net.begin(90, este_nodo);
radio.setDataRate(RF24_250KBPS);
radio.printDetails();
pinMode(4, OUTPUT);
pinMode(A0, INPUT);
pinMode(A1, INPUT);
digitalWrite(4, HIGH);
delay(500); digitalWrite(4, LOW); }

```

```

void loop(void) {
int potencia;
int contador=0;
int alarmas;
int vida_util;

```

```

////////// MODO PRUEBA //////////

```

```

rf24Net.update();
RF24NetworkHeader header2;
data_received confirm;
while ( rf24Net.available() ) {
rf24Net.read(header2, &confirm, sizeof(confirm));
ena = confirm.habilitar; delay(20); }

```

```

if(ena == 4 && leer_luz >= umbral_luz_1 && leer_luz <= umbral_luz_2)
{
digitalWrite(4, HIGH); delay(500);
potencia=get_potencia();
if(potencia <50)
alarmas = 1;
else if(potencia == 0) alarmas=2;
else alarmas=0;
digitalWrite(4, LOW);

```

```

bool ok=enviar_trama(ID, potencia, 0, alarmas); ena=0;
}
rf24Net.update();

////////// MODO ADQUISICIÓN //////////
inicio=0;
while(analogRead(A1) < umbral_luz_1 && alarmas == 0)
{
if(inicio == 0)
{
digitalWrite(4, HIGH); inicio=1;
}

potencia = get_potencia();
if(potencia > 50 && potencia < 500)
{
alarmas=0; contador++;
} else if(potencia > 0 && potencia <= 50)
{
alarmas = 1;
} else if(potencia >= 500)
{
alarmas = 2;
}
} if(get_potencia())>500)
{
alarmas=2; inicio=1;
}

while(inicio == 1)
{
digitalWrite(4, LOW);
delay(500);
bool ok = enviar_trama(ID, potencia, contador, alarmas);
if (ok == 1)
{
potencia=0; contador=0;
}
}

```

```
} inicio=0;  
}
```

```
while(alarmas==1)  
{  
float leer_luz=analogRead(A1);  
if(leer_luz>1000)  
{  
digitalWrite(4, HIGH);  
potencia=get_potencia();  
digitalWrite(4, LOW);  
delay(1000);  
if(potencia>50 && potencia<500)  
{  
alarmas=0;  
bool ok=enviar_trama(ID, potencia, 0, alarmas);  
digitalWrite(4,HIGH);  
delay(1000);  
digitalWrite(4, LOW); }  
}  
}
```

```
while(alarmas==2)  
{  
potencia=get_potencia();  
if(potencia<500)  
{  
alarmas=0;  
potencia=0;  
bool ok=enviar_trama(ID, potencia, 0, alarmas);  
digitalWrite(4,HIGH);  
delay(1000);  
digitalWrite(4, LOW);  
delay(1000);  
}  
}  
}
```

```

////////// ENVÍO DE DATOS //////////
bool enviar_trama(int ID, float potencia, float vida_util, int alarmas)
{
delay(250);
data_to_send enviar;
enviar.nodo=ID;
enviar.alarmas=alarmas;
enviar.vida_util=vida_util;
enviar.potencia=potencia;
RF24NetworkHeader header(maestro);
bool ok = rf24Net.write( header, &enviar, sizeof(enviar) );
delay(50);
digitalWrite(4, LOW);
if(ok) return(1);
else return(0);
}

```

```

////////// LECTURA DE POTENCIA //////////
float get_potencia()
{
float voltajeSensor;
float potencia;
float corriente=0;
long tiempo=millis();
float Imax=0;
float Imin=0;
while(millis()-tiempo<1000)
{
voltajeSensor = analogRead(A0) * (5.0 / 1023.0);
corriente=0.9*corriente+0.1*((voltajeSensor-2.527)
if(corriente>Imax)Imax=corriente;
if(corriente<Imin)Imin=corriente;
}
potencia = (((Imax-Imin)/2))*85;
return(potencia);
}

```

## Anexo F

### Algoritmo programado en cada uno de los nodos sensores para lámparas LED.

```
#include "RF24Network.h"
#include "RF24.h"
#include <SPI.h>

////////// Estructura de trama a transmitir //////////
struct data_to_send{ unsigned nodo;
unsigned alarmas;
unsigned vida_util;
unsigned potencia; }enviar;

////////// Estructura de trama a recibir //////////
struct data_received{ unsigned habilitar = 0; }confirm;

////////// Configuración nRF24L01 //////////
RF24 radio(3, 10);
RF24Network rf24Net(radio);
const uint64_t este_nodo = 05;
const uint64_t maestro = 00;

////////// Variables //////////
float leer_luz, contar_tiempo_encendido=0, Sensibilidad=0.055,offset=0.1;
int umbral_luz_1=200, umbral_luz_2=1000, cambio=0, inicio=0, en=0, ena=0,
ID=5;

////////// Configuración del nodo sensor //////////
```

```

void setup(void)
{
Serial.begin(9600);
analogReference(EXTERNAL);
SPI.begin();
radio.begin();
rf24Net.begin(90, este_nodo);
radio.setDataRate(RF24_250KBPS);
radio.printDetails();
pinMode(9, OUTPUT);
pinMode(A2, INPUT);
pinMode(A4, INPUT);
pinMode(A5, INPUT);
for(int i=1;i<=5;i++)
{
analogWrite(9, 50*i); delay(500);
}
analogWrite(9, 0);
delay(500);
}

void loop(void)
{
int ID=5;
int potencia;
int contador=0;
int alarmas;
int vida_util;

rf24Net.update();
RF24NetworkHeader header2; data_received confirm;
while ( rf24Net.available() )
{
rf24Net.read(header2, &confirm, sizeof(confirm)); ena = confirm.habilitar; delay(20);
}
if(ena == 4 && leer_luz >= umbral_luz_1 && leer_luz <= umbral_luz_2)
{

```

```
analogWrite(9, 255);
delay(500);
potencia=get_potencia(200);
if(potencia <13) alarmas = 1;
else if(potencia == 0) alarmas=2;
else alarmas=0;
analogWrite(9, 0);
bool ok=enviar_trama(ID, potencia, 0, alarmas); ena=0; }
rf24Net.update();
```

```
////////// MODO ADQUISICIÓN //////////
```

```
inicio=0;
while(analogRead(A1) < umbral_luz_1 && alarmas == 0)
{
if(inicio == 0)
{
digitalWrite(9, 255);
inicio=1;
}
potencia = get_potencia(200);
if(potencia > 13 && potencia < 25)
{
alarmas=0; contador++;
} else if(potencia > 0 && potencia <= 13)
{
alarmas = 1;
} else if(potencia == 0)
{
alarmas = 2;
}
}

if(get_potencia(200)==0)
{
alarmas=2; inicio=1;
}
```

```
while(inicio == 1)
{
analogWrite(9, 0);
delay(500);
bool ok = enviar_trama(ID, potencia, contador, alarmas);
if (ok == 1)
{
potencia=0;
contador=0;
}
inicio=0;
}
```

```
while(alarmas==1)
{
float leer_luz=analogRead(A1);
if(leer_luz>1000)
{
analogWrite(9, 255);
potencia=get_potencia(200);
analogWrite(9, 0);
delay(1000);
if(potencia>13 && potencia<25)
{
alarmas=0;
bool ok=enviar_trama(ID, potencia, 0, alarmas);
analogWrite(9,255);
delay(1000);
analogWrite(9, 0);
}
}
}
```

```
while(alarmas==2)
{
potencia=get_potencia(200);
if(potencia<500)
```



```

{
alarmas=0;
potencia=0;
bool ok=enviar_trama(ID, potencia, 0, alarmas);
analogWrite(9,255);
delay(1000);
analogWrite(9, 0);
delay(1000);
}
}
}

```

```

bool enviar_trama(int ID, float potencia, float vida_util, int alarmas)
{
delay(250);
data_to_send enviar;
enviar.nodo=ID;
enviar.alarmas=alarmas;
enviar.vida_util=vida_util;
enviar.potencia=potencia;
RF24NetworkHeader header(maestro);
bool ok = rf24Net.write( header, &enviar, sizeof(enviar) );
delay(50);
analogWrite(9, 0);
if(ok) return(1);
else return(0);
}

```

```

int get_potencia(int n_muestras)
{
float voltajeSensor;
float corriente=0;
for(int i=0;i<n_muestras;i++)
{
voltajeSensor = analogRead(A0) * (5.0 / 1023.0);
corriente=corriente+(voltajeSensor-2.5);
}
}

```

```
corriente=corriente/n_muestras;  
return(corriente);  
delay(1000);  
}
```

## Anexo G

### Algoritmo programado en el Gateway.

```
#include "RF24Network.h"
#include "RF24.h"
#include <SPI.h>
#include "printf.h"

////////// Create the structures for data //////////
struct data_received{ unsigned nodo;
unsigned alarmas;
unsigned vida_util;
unsigned potencia; }payload;

struct data_to_send { unsigned habilitar = 0; }confirm;

////////// Setup nRF24L01+ module //////////
RF24 radio(14,15);
RF24Network rf24Net(radio);
const uint64_t base = 00;
const uint64_t esclavo1 = 01;
const uint64_t esclavo2 = 02;
const uint64_t esclavo3 = 03;
const uint64_t esclavo4 = 04;
const uint64_t esclavo5 = 05;

////////// setup //////////
void setup(void) {
printf_begin();
```

```

Serial.begin(9600);
Serial.print(F("Starting interfaces..."));
SPI.begin();
radio.begin();
Serial.print(F("complete]\n"));
rf24Net.begin(90, base);
radio.setDataRate(RF24_250KBPS);
radio.printDetails();
}

void loop(void)
{
bool en=0;
rf24Net.update();
RF24NetworkHeader header; data_received payload;
while ( rf24Net.available() ) {
rf24Net.read( header, &payload, sizeof(payload) );
en=1;
}

if(en==1)
{
String dataPrint = "[NODO: " + String(payload.nodo) + " ]=> " +
"[alarmas: " + String(payload.alarmas) + "*N] " + "[v_util: " +
String((float)payload.vida_util) + "h] " + "[potencia: " +
String((float)(payload.potencia)) + "W] ";
Serial.println(dataPrint);
}
}

```

## Anexo H

### Algoritmo programado para inserción de datos en la base MySQL.

```
<?php
$conexion = mysql_connect('localhost', 'root', 'Ytjda3toGe') or die ("No se pudo
conectar a la base de datos"); mysql_select_db('nodos', $conexion) or die ("No se
encontro la base de datos");
$vo = $_GET['vo']; $v1 = $_GET['v1']; $v2 = $_GET['v2']; $v3 = $_GET['v3'];
$v4 = $_GET['v4'];

switch($vo)
{

case 1: $consultar=mysql_query("SELECT * FROM LSP1 ORDER BY id DESC
LIMIT 0,1", $conexion);
$valor=mysql_result($consultar,0,"vida_util");
mysql_free_result($consultar);
$v1 = $v1 + $valor;
$sql = "INSERT INTO LSP1(vida_util, I_promedio, alarmas) VALUES
('$v1','$v2', '$v3')";
break;

case 2: $consultar=mysql_query("SELECT * FROM LSP2 ORDER BY id DESC
LIMIT 0,1", $conexion);
$valor=mysql_result($consultar,0,"vida_util");
mysql_free_result($consultar);
$v1 = $v1 + $valor;
$sql = "INSERT INTO LSP2(vida_util, I_promedio, alarmas) VALUES
('$v1','$v2', '$v3')";
break;
```

```

    case 3: $consultar=mysql_query("SELECT * FROM LSP3 ORDER BY id DESC
LIMIT 0,1", $conexion);
    $valor=mysql_result($consultar,0,"vida_util");
    mysql_free_result($consultar);
    $v1 = $v1 + $valor;
    $sql = "INSERT INTO LSP3(vida_util, I_promedio, alarmas) VALUES
('$v1','$v2', '$v3')";
    break;

    case 100: $consultar=mysql_query("SELECT * FROM LLD1 ORDER BY id
DESC LIMIT 0,1", $conexion);
    $valor=mysql_result($consultar,0,"vida_util");
    mysql_free_result($consultar);
    $v1 = $v1 + $valor;
    $sql = "INSERT INTO LLD1(vida_util, I_promedio, alarmas, atnum) VALUES
('$v1','$v2', '$v3','$v4')";
    break;

    case 101: $consultar=mysql_query("SELECT * FROM LLD2 ORDER BY id
DESC LIMIT 0,1", $conexion);
    $valor=mysql_result($consultar,0,"vida_util");
    mysql_free_result($consultar);
    $v1 = $v1 + $valor;
    $sql = "INSERT INTO LLD2(vida_util, I_promedio, alarmas, atnum) VALUES
('$v1','$v2', '$v3','$v4')";
    break;
}

mysql_query($sql, $conexion); mysql_close($conexion);
?>

```

## Anexo I

### Algoritmo programado para consulta de datos en la base MySQL.

```
<?php
```

```
$conexion = mysql_connect('localhost', 'root', 'Ytjda3toGe') or die ("No se pudo conectar al servidor");
```

```
mysql_select_db('nodos', $conexion) or die ("No se encontro la base de datos");
```

```
$comp = $_GET['q'];
```

```
$al = $_GET['a'];
```

```
switch($comp)
```

```
{
```

```
case 1:
```

```
$consultar = mysql_query("SELECT * FROM LSP1 ORDER BY id DESC LIMIT 0,1", $conexion);
```

```
$vida_util = mysql_result($consultar, 0, "vida_util");
```

```
mysql_free_result($consultar);
```

```
echo $vida_util;
```

```
break;
```

```
case 2:
```

```
$consultar = mysql_query("SELECT * FROM LSP2 ORDER BY id DESC LIMIT 0,1", $conexion);
```

```
$vida_util = mysql_result($consultar, 0, "vida_util");
```

```
mysql_free_result($consultar);
```

```
echo $vida_util;
```

```
break;
```

```
case 3:
    $consultar = mysql_query("SELECT * FROM LSP3 ORDER BY id DESC
LIMIT 0,1", $conexion);
    $vida_util = mysql_result($consultar, 0, "vida_util");
    mysql_free_result($consultar);
    echo $vida_util;
    break;

case 100:
    $consultar = mysql_query("SELECT * FROM LLD1 ORDER BY id DESC
LIMIT 0,1", $conexion);
    $vida_util = mysql_result($consultar, 0, "vida_util");
    mysql_free_result($consultar);
    echo $vida_util;
    break;

case 101:
    $consultar = mysql_query("SELECT * FROM LLD2 ORDER BY id DESC
LIMIT 0,1", $conexion);
    $vida_util = mysql_result($consultar, 0, "vida_util");
    mysql_free_result($consultar);
    echo $vida_util;
    break;

}

switch($al)
{

case 1:
    $alerta = mysql_query("SELECT * FROM LSP1 ORDER BY id DESC LIMIT
0,1", $conexion);
    $alarma = mysql_result($alerta, 0, "alarmas");
    mysql_free_result($alerta);
    echo $alarma;
    break;
```



```
case 2:
$alerta = mysql_query("SELECT * FROM LSP2 ORDER BY id DESC LIMIT
0,1", $conexion);
$alarma = mysql_result($alerta, 0, "alarmas");
mysql_free_result($alerta);
echo $alarma;
break;

case 3:
$alerta = mysql_query("SELECT * FROM LSP3 ORDER BY id DESC LIMIT
0,1", $conexion);
$alarma = mysql_result($alerta, 0, "alarmas");
mysql_free_result($alerta);
echo $alarma;
break;

case 100:
$alerta = mysql_query("SELECT * FROM LLD1 ORDER BY id DESC LIMIT
0,1", $conexion);
$alarma = mysql_result($alerta, 0, "alarmas");
mysql_free_result($alerta);
echo $alarma;
break;

case 101:
$alerta = mysql_query("SELECT * FROM LLD2 ORDER BY id DESC LIMIT
0,1", $conexion);
$alarma = mysql_result($alerta, 0, "alarmas");
mysql_free_result($alerta);
echo $alarma;
break;
}
?>
```

## Anexo J

### Algoritmo programado para presentación de datos de potencia promedio.

```
<html> <head> <script type="text/javascript"
src="https://www.gstatic.com/charts/loader.js"></script>
<script type="text/javascript"> google.charts.load('current',
{'packages':['corechart']}); google.charts.setOnLoadCallback(drawChart);
function drawChart()
{
var data = google.visualization.arrayToDataTable
([ ['Tiempo', 'Descarga', 'LED'], ['2', 101, 20], ['4', 99, 18], ['6', 98, 21], ['8', 101,
20] ]);
var options = { title: 'POTENCIA', curveType: 'function', legend: { position:
'bottom' } };
var chart = new google.visualization.LineChart(document.getElementById('curve_chart'));
chart.draw(data, options); } </script> </head> <body> <div
id="curve_chart" style="width: 900px; height: 500px"></div> </body> </html>
```

## Anexo K

### Algoritmo programado para monitoreo en tiempo real en GoogleMaps.

```
<!DOCTYPE html>
<html>
<head>
  <style type="text/css"> html, body { height: 100%; margin: 0; padding: 0; }
  #map { height: 100%; } </style>
  </head> <body> <div id="map"></div> <script type="text/javascript"
  src="http://ajax.googleapis.com/ajax/libs/jquery/1.8.2/jquery.min.js"></script>
<script type="text/javascript">

  var map; var x=0; var clr=0; var markers1; var markers2; var markers3; var
markerl1; var markerl2;
  var opcionmarkerlsp1;
  var latlong1 = {lat: -1.267831, lng: -78.623794};
  var latlong2 = {lat: -1.267585, lng: -78.623892};
  var latlong3 = {lat: -1.267257, lng: -78.623973};
  var latlong100 = {lat: -1.267168, lng: -78.624229};
  var latlong101 = {lat: -1.267268, lng: -78.624476};

  function initMap() {
  if(x==0)
  {
  var opcionesmap = { center: {lat: -1.267700, lng: -78.624187}, zoom: 18,
mapTypeControl:
  true, zoomControl:true, scaleControl: true, streetViewControl: true
  };
  map = new google.maps.Map(document.getElementById('map'), opcionesmap);
```

```

    markers1 = new google.maps.Marker({ position: latlong1, draggable: true, map:
map,
    title: 'LSP1, lat: -1.267831, lng: -78.623794' });
    markers2 = new google.maps.Marker({ position: latlong2, draggable: true, map:
map,
    title: 'LSP2, lat: -1.267585, lng: -78.623892' });
    markers3 = new google.maps.Marker({ position: latlong3, draggable: true, map:
map,
    title: 'LSP3, lat: -1.267257, lng: -78.623973' });
    marker11 = new google.maps.Marker({ position: latlong100, draggable: true, map:
map,
    title: 'LLD1, lat: -1.267168, lng: -78.624229' });
    marker12 = new google.maps.Marker({ position: latlong101, draggable: true, map:
map,
    title: 'LLD2, lat: -1.267168, lng: -78.624229' });
    x=1;
}

if(obtener_estado(1)==0)
{
    markers1.setAnimation(null);
    markers1.setIcon('http://192.168.0.100/monitoreo_luminarias/imagenes/verde.png');
} else if(obtener_estado(1)==1)
{
    markers1.setAnimation(google.maps.Animation.BOUNCE);
    markers1.setIcon('http://192.168.0.100/monitoreo_luminarias/imagenes/rojo.png');
} else if(obtener_estado(1)==2)
{
    markers1.setAnimation(null);
    markers1.setIcon('http://192.168.0.100/monitoreo_luminarias/imagenes/amarillo.png');
}

if(obtener_estado(2)==0)
{
    markers2.setAnimation(null);
    markers2.setIcon('http://192.168.0.100/monitoreo_luminarias/imagenes/verde.png');
} else if(obtener_estado(2)==1)

```

```
{
markers2.setAnimation(google.maps.Animation.BOUNCE);
markers2.setIcon('http://192.168.0.100/monitoreo_luminarias/imagenes/rojo.png');
}
else if(obtener_estado(2)==2)
{
markers2.setAnimation(null);
markers2.setIcon('http://192.168.0.100/monitoreo_luminarias/imagenes/amarillo.png');
}

if(obtener_estado(3)==0)
{
markers3.setAnimation(null);
markers3.setIcon('http://192.168.0.100/monitoreo_luminarias/imagenes/verde.png');
} else if(obtener_estado(3)==1)
{
markers3.setAnimation(google.maps.Animation.BOUNCE);
markers3.setIcon('http://192.168.0.100/monitoreo_luminarias/imagenes/rojo.png');
} else if(obtener_estado(3)==2)
{
markers3.setAnimation(null);
markers3.setIcon('http://192.168.0.100/monitoreo_luminarias/imagenes/amarillo.png');
}

if(obtener_estado(100)==0)
{
markerl1.setAnimation(null);
markerl1.setIcon('http://192.168.0.100/monitoreo_luminarias/imagenes/verde.png');
} else if(obtener_estado(100)==1)
{
markerl1.setAnimation(google.maps.Animation.BOUNCE);
markerl1.setIcon('http://192.168.0.100/monitoreo_luminarias/imagenes/rojo.png');
} else if(obtener_estado(100)==2)
{
markerl1.setAnimation(null);
markerl1.setIcon('http://192.168.0.100/monitoreo_luminarias/imagenes/amarillo.png');
}
```

```

if(obtener_estado(101)==0)
{
markerl2.setAnimation(null);
markerl2.setIcon('http://192.168.0.100/monitoreo_luminarias/imagenes/verde.png');
} else if(obtener_estado(101)==1)
{
markerl2.setAnimation(google.maps.Animation.BOUNCE);
markerl2.setIcon('http://192.168.0.100/monitoreo_luminarias/imagenes/rojo.png');
} else if(obtener_estado(101)==2)
{
markerl2.setAnimation(null);
markerl2.setIcon('http://192.168.0.100/monitoreo_luminarias/imagenes/amarillo.png');
}
}

```

```

function obtener_estado(i) {
switch (i)
{
case 1: var estado =
$.ajax({ url:
'http://192.168.0.100/monitoreo_luminarias/archivos/consultasql.php?a=1&q=0',
datatype: 'text', async: false }).responseText;
return estado;
break;

case 2: var estado =
$.ajax({ url:
'http://192.168.0.100/monitoreo_luminarias/archivos/consultasql.php?a=2&q=0',
datatype: 'text', async: false }).responseText;
return estado;
break;

case 3: var estado =
$.ajax({ url:
'http://192.168.0.100/monitoreo_luminarias/archivos/consultasql.php?a=3&q=0',
datatype: 'text', async: false }).responseText;

```

```
return estado;
break;

case 100: var estado =
$.ajax({ url:
'http://192.168.0.100/monitoreo_luminarias/archivos/consultasql.php?a=100&q=0',
datatype: 'text', async: false }).responseText;
return estado;
break;

case 101: var estado =
$.ajax({ url:
'http://192.168.0.100/monitoreo_luminarias/archivos/consultasql.php?a=101&q=0',
datatype: 'text', async: false }).responseText;
return estado;
break; } }

setInterval(initMap,2000);
</script>
<script async defer
src="https://maps.googleapis.com/maps/api/js?key=
AIzaSyDXbvEzgTG1YB59Gz74nlY8iOfCb5EwaUI&callback=
initMap"> </script> </body> </html>
```

## Anexo L

**Algoritmo programado para presentación de vida útil y alarmas visuales.**

```
<script type="text/javascript"
src="http://ajax.googleapis.com/ajax/libs/jquery/1.8.2/jquery.min.js"></script>
<script type="text/javascript">

function obtener_umbral_gases()
{
var umbralgases = document.getElementById("dato1").value;
return umbralgases;
}

function obtener_umbral_led()
{
var umbralled = document.getElementById("dato2").value;
return umbralled;
}

function obtener_alarmas1() {
var alarma = $.ajax({ url:
'http://192.168.0.100/monitoreo_luminarias/archivos/consultasql.php?a=1&q=0',
dataType: 'text', async:false }).responseText; return alarma;
}

function obtener_alarmas2() {
var alarma = $.ajax({ url:
'http://192.168.0.100/monitoreo_luminarias/archivos/consultasql.php?a=2&q=0',
dataType: 'text', async: false }).responseText; return alarma;
}
```



```
function obtener_alarmas3() {  
var alarma = $.ajax({ url:  
'http://192.168.0.100/monitoreo_luminarias/archivos/consultasql.php?a=3&q=0',  
dataType: 'text', async: false }).responseText; return alarma;  
}
```

```
function obtener_alarmas100() {  
var alarma = $.ajax({ url:  
'http://192.168.0.100/monitoreo_luminarias/archivos/consultasql.php?a=100&q=0',  
dataType: 'text', async: false }).responseText; return alarma;  
}
```

```
function obtener_alarmas101() {  
var alarma = $.ajax({ url:  
'http://192.168.0.100/monitoreo_luminarias/archivos/consultasql.php?a=101&q=0',  
dataType: 'text', async: false }).responseText; return alarma;  
}
```

```
function obtener_vida_util() {  
var vida_util_lsp1 = $.ajax({ url:  
'http://192.168.0.100/monitoreo_luminarias/archivos/consultasql.php?a=0&q=1',  
dataType: 'text', async: false }).responseText;  
document.getElementById("L0").innerHTML=vida_util_lsp1+" h";  
vida_util_lsp1 = parseFloat(vida_util_lsp1);  
if (obtener_alarmas1()==1) document.getElementById("L0").className = "QUEMADO";  
else {  
if(vida_util_lsp1>=obtener_umbral_gases())  
document.getElementById("L0").className = "PASADO";  
else document.getElementById("L0").className = "NORMAL";  
}  
}
```

```
var vida_util_lsp2 = $.ajax({ url:  
'http://192.168.0.100/monitoreo_luminarias/archivos/consultasql.php?a=0&q=2',  
dataType: 'text', async: false }).responseText;  
document.getElementById("L1").innerHTML=vida_util_lsp2+" h";  
vida_util_lsp2 = parseFloat(vida_util_lsp2);
```

```
if(obtener_alarmas2()==1)
document.getElementById("L1").className = "QUEMADO";
else
{
if(vida_util_lsp2>=obtener_umbral_gases())
document.getElementById("L1").className = "PASADO";
else document.getElementById("L1").className = "NORMAL";
}
```

```
var vida_util_lsp3 = $.ajax({ url:
'http://192.168.0.100/monitoreo_luminarias/archivos/consultasql.php?a=0&q=3',
dataType: 'text', async: false }).responseText;
document.getElementById("L2").innerHTML=vida_util_lsp3+" h";
vida_util_lsp3 = parseFloat(vida_util_lsp3);
if(obtener_alarmas3()==1)
document.getElementById("L3").className = "QUEMADO";
else
{
if(vida_util_lsp3>=obtener_umbral_gases())
document.getElementById("L2").className = "PASADO";
else document.getElementById("L2").className = "NORMAL";
}
```

```
var vida_util_lld1 = $.ajax({ url:
'http://192.168.0.100/monitoreo_luminarias/archivos/consultasql.php?a=0&q=100',
dataType: 'text', async: false }).responseText;
document.getElementById("LD0").innerHTML=vida_util_lld1+" h";
vida_util_lld1 = parseFloat(vida_util_lld1);
if(obtener_alarmas100()==1)
document.getElementById("LD0").className = "QUEMADO";
else
{
if(vida_util_lld1>=obtener_umbral_led())
document.getElementById("LD0").className = "PASADO";
else document.getElementById("LD0").className = "NORMAL";
}
```

```

var vida_util_lld2 = $.ajax({ url:
'http://192.168.0.100/monitoreo_luminarias/archivos/consultasql.php?a=0&q=101',
dataType: 'text', async: false }).responseText;
document.getElementById("LD1").innerHTML = vida_util_lld2+" h";
vida_util_lld2 = parseFloat(vida_util_lld2);
if(obtener_alarmas101()==1)
document.getElementById("LD1").className = "QUEMADO";
else
{
if(vida_util_lld2>=obtener_umbral_led())
document.getElementById("LD1").className = "PASADO";
else document.getElementById("LD1").className = "NORMAL";
}
}

setInterval(obtener_vida_util,2000);
</script> <html> <head> <title>AJAX</title>
<style "type=text/css"> body {color: black;background-color: white;
}
div {background-color: blue; color: white; border: 2px solid black; padding: 15px;
margin: 15px; height: auto; width: 100px; border-radius: 30px; text-align:
center; float: left; font-weight:bold;} .cabecera {background-color: #F30; clear:
left;
}
.formulario {background-color: #004F00; width: auto;} .oculto {background-color:
transparent; border: none;} .NORMAL {background-color: green;} .PASADO
{background-color: orange;} .QUEMADO {background-color: red;} .ETIQUETAS
{background-color: #004F00; border:none;} input, #boton {width: 80px; border-radius:
5px; font-weight:bold;text-align: center;} #boton:hover{border: 3px solid black;}
#principal {background-color: #000F00;} </style>

</head> <body> <div id = "principal" class="formulario"> <h2>ESTADO DE
LUMINARIAS</h2>
<!FORMULARIO GASES A PRESION> <div id="datos" class="formulario">
<p>LUMINARIAS DE GAS A PRESION</p> <div class="ETIQUETAS"> ID
</div>

```

```

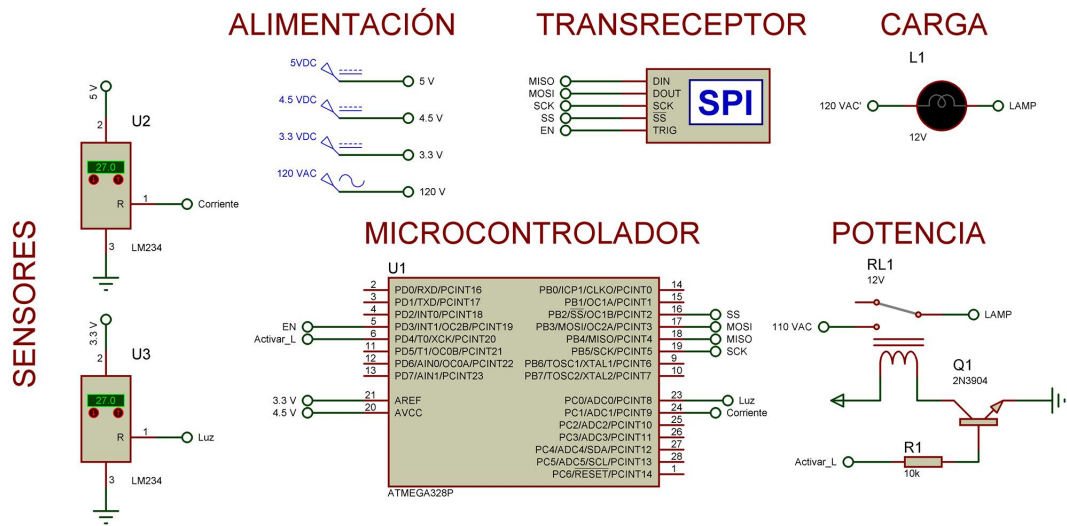
    <div class="ETIQUETAS"> HORAS </div> <div class="cabecera"> LAMP 1
</div>
    <div id="L0" class="NORMAL"> N/A </div> <div class="cabecera"> LAMP
2 </div>
    <div id="L1" class="NORMAL"> N/A </div> <div class="cabecera"> LAMP
3 </div>
    <div id="L2" class="NORMAL"> N/A </div> </div>

<!FORMULARIO LED> <div id="datos" class="formulario"> <p>LUMINARIAS
LED</p>
    <div class="ETIQUETAS"> ID </div> <div class="ETIQUETAS"> HORAS
</div>
    <div class="cabecera"> LAMP 1 </div> <div id="LD0" class="NORMAL">
N/A </div>
    <div class="cabecera"> LAMP 2 </div> <div id="LD1" class="NORMAL">
N/A </div> </div>
    <div class="formulario"> <p>CONFIGURACION Y PRUEBA</p>
    <div class="cabecera"> VIDA UTIL GASES (h) </div> <div id="umbral1"
class="oculto">
    <input id="dato1" type="number" onChange="cambia_umbral()"
value="70" onMouseOver="cambiaIntervalo(0)" onMouseOut="cambiaIntervalo(5000)">
</div> <div class="cabecera"> VIDA UTIL LED (H) </div> <div id="umbral2"
class="oculto">
    <input id="dato2" type="number" onChange="cambia_umbral()" value="70"
onMouseOver="cambiaIntervalo(0)" onMouseOut="cambiaIntervalo(5000)">
</div> <div class="cabecera"> PROBAR SISTEMA </div>
<div id="boton" onClick="boton_manual()"
onMouseOver="cambiaIntervalo(0)" onMouseOut="cambiaIntervalo(5000)" >OFF</div>
</div> </div>
</body> </html>

```

## Anexo M

Diagrama esquemático de los nodos sensores para lámparas de descarga de gas.



## Anexo N

### Diagrama esquemático de los nodos sensores para lámparas LED.

