



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA
ESCUELA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA,
CONTROL Y REDES INDUSTRIALES

**“PROPUESTA DE UN PROTOTIPO DE UNA WSN PARA LA
SUPERVISIÓN Y ALERTA EN TIEMPO REAL DE FALLAS EN
LUMINARIAS DEL ALUMBRADO PÚBLICO”**

TRABAJO DE TITULACIÓN

TIPO: DISPOSITIVO TECNOLÓGICO

Presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERO EN ELECTRÓNICA, CONTROL Y REDES
INDUSTRIALES**

AUTORES: FRANKLIN HUMBERTO RUIZ VILLACÍS

FERNANDO JAVIER MARTÍNEZ ALTAMIRANO

TUTOR: ING. JOSÉ ENRIQUE GUERRA SALAZAR

Riobamba-Ecuador

2019

©2019, Franklin Humberto Ruiz Villacís, Fernando Javier Martínez Altamirano

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA
ESCUELA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA, CONTROL Y REDES
INDUSTRIALES

El Tribunal del Trabajo de Titulación certifica que: El trabajo de investigación: Tipo Dispositivo tecnológico “**PROPUESTA DE UN PROTOTIPO DE UNA WSN PARA LA SUPERVISIÓN Y ALERTA EN TIEMPO REAL DE FALLAS EN LUMINARIAS DEL ALUMBRADO PÚBLICO**”, de responsabilidad de los señores Franklin Humberto Ruiz Villacís y Fernando Javier Martínez Altamirano, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Titulación, quedando autorizada su presentación.

	FIRMA	FECHA
DR. WASHINGTON LUNA DECANO DE LA FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA	_____	_____
ING. FREDDY CHAVEZ DIRECTOR DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA, CONTROL Y REDES INDUSTRIALES	_____	_____
MSC. JOSÉ GUERRA DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	_____	_____
MSC. PABLO LOZADA MIEMBRO DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	_____	_____

Nosotros, Franklin Humberto Ruiz Villacís y Fernando Javier Martínez Altamirano, somos responsables de las ideas, criterios, doctrinas y resultados expuestos en este Trabajo de Titulación y el patrimonio intelectual de la Tesis de Grado pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Franklin Humberto Ruiz Villacís
Fernando Javier Martínez Altamirano

DEDICATORIA

El presente trabajo va dedicado con mucho amor a mis padres por ser la esencia de mi vida y brindarme sus consejos. Ellos desde el momento de iniciar en la carrera de Ingeniería Electrónica en Control y Redes Industriales han hecho que mis sueños vayan creciendo cada vez más, supieron que al brindarme su confianza y su cariño podrían convertirme en un profesional de éxito. Ha llegado el momento final donde puedo corresponder a esa confianza depositada en mí se ve reflejada en mi trabajo de titulación.

Franklin Humberto Ruiz Villacís

El presente trabajo lo dedico con mucho amor y respeto a mis queridos padres, porque ellos desde el momento de entrar a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, institución superior de mucho prestigio ha hecho que mi anhelo de superación vaya creciendo y desarrollando potencialidades en la formación de mi carrera en Control y Redes industriales; supieron ellos que al darme alas podía volar y ha llegado el momento culminante que la fe, la esperanza fijada en mi persona estoy correspondiendo con una realidad la de terminar con la Tesis como un paso gigante para obtener mi profesión como ingeniero, los conocimientos que recibí por parte de mis maestros serán el resultado y la garantía en el desenvolvimiento en la sociedad puesta al servicio de las empresas o en el lugar que me acojan por sustentar los saberes sólidos con calidad y calidez.

Fernando Javier Martínez Altamirano

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, quiero agradecer a Dios por darme la salud y fuerza necesaria para culminar con esta etapa de mi vida. A mis padres por ser el motor principal para cumplir con todas mis metas planteadas, por haberme apoyado con todos los recursos necesarios para hoy poder convertirme en un profesional de éxito. A mi novia por estar conmigo en los buenos y malos momentos, siempre apoyándonos mutuamente para salir adelante. A mis hermanos por esas palabras de aliento que me ayudaron en momentos difíciles, el cariño incondicional de ellos me ha ayudado en todo momento. A mi familia en general por todo el apoyo moral brindado en cada momento de mi existencia. A mis compañeros de clase, aquello con los siempre nos hemos apoyado mutuamente para poder realizar este sueño, obtener con éxito la Ingeniería de Electrónica en Control y Redes Industriales

Franklin Humberto Ruiz Villacís

En primer lugar, debo iniciar con las gracias infinitas a Dios por haberme dado la vida y ponerme en el camino de la superación como persona perseverante, lógica, responsable, puntual y decidida a vencer los retos que se han presentado en la trayectoria politécnica, a mis padres, mi hermana, porque ellos fueron el pilar fundamental al cobijarme con su ternura, amor, abrigo, siempre han sido ejemplo de superación a seguir, a mis sobrinitos por medio de su sonrisa inocente desvanecían en algunos momentos las dificultades, debo reconocer también como algo imprescindible al proveerme lo económico, no han dudado en un solo instante en darme el dinero para la adquisición de los materiales que eran necesarios al momento de hacer uso en los requerimientos; no puedo prescindir de las palabras de mi abuelito materno, hijito tu puedes seguir no desmayes, y a todos mis familiares que de una u otra manera han contribuido con sus sabios consejos, en la superación de la parte emocional; a todos y cada uno de los maestros, porque eso fueron unos verdaderos maestros al dotarme de sabiduría para enfrentar la era tecnológica con seguridad; a mis compañeros de aula, en su momento se convirtieron en los mejores aliados para trabajar y no tropezar en el camino. Como no resaltar la valía de mi Tutor de Tesis al ser el guía en el trabajo, el conductor de elementos y aspectos implementados.

Fernando Javier Martínez Altamirano

TABLA DE CONTENIDOS

RESUMEN.....	XVI
ABSTRAC.....	XVII
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I	
MARCO TEÓRICO	5
1.1. ALUMBRADO PÚBLICO	5
1.2. COSTO DEL SISTEMA DE ALUMBRADO PÚBLICO GENERAL (SAPG)	5
1.3. NÚMERO DE LUMINARIAS INSTALADAS EN EL PAÍS	7
1.4. INVESTIGACIONES RELACIONADAS CON LA TEMÁTICA	8
1.5. REALIDAD DE LA ZONA	8
1.6. TIPOS DE LUMINARIAS	9
1.6.1. <i>Luminarias LED</i>	10
1.7. REDES INALÁMBRICAS DE SENSORES (WSN)	13
1.7.1. <i>Elementos de una WSN</i>	15
1.7.2. <i>Topología de Red WSN</i>	15
1.8. TARJETAS DE DESARROLLO PARA EL COORDINADOR.....	17
1.9. TARJETA DE DESARROLLO PARA EL ROUTER	19
1.10. COMUNICACIÓN POR RADIOFRECUENCIA	19
1.11. SENSOR DE CORRIENTE.....	21
1.12. MÓDULO GPS	21
1.13. CONTROL.....	22
CAPÍTULO II	
MARCO METODOLÓGICO.....	23
2.1 REQUERIMIENTOS DEL PROTOTIPO DE RED.....	23
2.1.1 <i>Concepción universal del diseño hardware del prototipo de red</i>	23
2.1.2 <i>Arquitectura del prototipo de red</i>	25
2.2 SELECCIÓN DE DISPOSITIVOS PARA EL PROTOTIPO DE RED	27
2.2.1 <i>Lámpara Led-ex</i>	27

2.2.2	<i>Dispositivos de comunicación y procesamiento</i>	28
2.2.3	<i>Modem Huawei</i>	30
2.2.4	<i>Dispositivo para la comunicación inalámbrica mediante Zigbee</i>	31
2.2.5	<i>Dispositivos de adquisición de corriente y geolocalización</i>	33
2.2.6	<i>Dispositivos de control y protección</i>	35
2.2.7	<i>Sistema de alimentación</i>	36
2.2.8	<i>Elementos extras</i>	36
2.3	ESQUEMA DE CONEXIÓN ELECTRÓNICA	38
2.3.1	<i>Sensor de voltaje</i>	38
2.1.1	<i>Esquema de conexión eléctrica para el router</i>	38
2.1.2	<i>Esquema de conexión eléctrica para el coordinador</i>	40
2.4	ESQUEMA DE CONEXIÓN ELÉCTRICA DE LA PLACA IMPRESA A LA LUMINARIA	42
2.5	HERRAMIENTAS SOFTWARE PARA EL PROTOTIPO DE RED	43
2.5.1	<i>X-CTU 5.2 para Xbee</i>	43
2.5.2	<i>IDE 2.8 para Arduino</i>	43
2.5.3	<i>Python 3.0 para Raspberry</i>	44
2.5.4	<i>Cayenne</i>	44
2.6	SOFTWARE DESARROLLADO PARA EL PROTOTIPO DE RED	44
2.6.1	<i>Requerimientos del software del prototipo de red</i>	44
2.6.2	<i>Software desarrollado para el router</i>	44
2.6.3	<i>Software desarrollado para el coordinador</i>	45
2.7	ESTRUCTURA DEL PROTOTIPO DE RED	48

CAPÍTULO III

3.1	MEDICIONES DE PARÁMETROS ELÉCTRICOS	49
3.1.1	<i>Prueba de medición de Corriente DC</i>	49
3.1.2	<i>Prueba de medición de voltaje DC</i>	50
3.1.3	<i>Prueba de Posicionamiento</i>	52
3.1.4	<i>Prueba de estabilidad del prototipo</i>	53
3.2	PRUEBAS DE COMUNICACIÓN	54
3.2.1	<i>Comunicación nodo Coordinador –nodos Routers</i>	55
3.2.2	<i>Comunicación software Cayenne-nodo Coordinador</i>	57
3.3	GENERACIÓN DE MENSAJE	58
3.4	PRUEBAS DE IMPLANTACIÓN Y FUNCIONAMIENTO	59
3.5	CAPACIDAD DE NODOS QUE PUEDE SOPORTAR LA RED	63
3.6	CONSUMO DE ENERGÍA DEL PROTOTIPO DE RED	64
3.7	ANÁLISIS ECONÓMICO DEL PROTOTIPO DE RED	66

CONCLUSIONES.....	68
RECOMENDACIONES.....	70
BIBLIOGRAFÍA	
ANEXOS	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1: Valores de x.....	6
Tabla 2-1: Costo del servicio de alumbrado público del 2015.....	7
Tabla 3-1: Eficacia de focos utilizados en alumbrado público.....	9
Tabla 4-1: Vida útil promedio de lámparas utilizadas en alumbrado público	10
Tabla 5-1: Causas de daños en las luminarias LEDS (Ignacio J y Leandro G, 2016).....	12
Tabla 6-1: Características de las topologías de red WSN	16
Tabla 7-1: Análisis comparativo de los ordenadores de placa simple.	18
Tabla 8-1: Análisis de plataformas de hardware libre	19
Tabla 9-1: Análisis técnico de módulos de comunicación por radiofrecuencia.....	20
Tabla 10-1: Análisis de sensores de corriente para Arduino.....	21
Tabla 11-1: Análisis de módulos GPS para Arduino.....	21
Tabla 12-1: Análisis de conmutadores electromagnéticos.....	22
Tabla 1-2: Principales características Luminaria LED-ex.	28
Tabla 2-2: Principales características de la tarjeta Raspberry Pi 3	29
Tabla 3-2: Principales características Arduino Uno R3	30
Tabla 4-2: Principales características del modem Huawei	31
Tabla 5-2: Principales características de la tarjeta XBee PRO ZB (S2).	32
Tabla 6-2: Características Xbee Shield (Xbee Shield, 2014).....	33
Tabla 7-2: Principales características del sensor de corriente.....	34
Tabla 8-2: Principales características del GPS NEO-6M.	35
Tabla 9-2: Principales características del Relé 5V.....	36
Tabla 10-2: Principales características Transistor 2N3904.....	37
Tabla 11-2: Terminales de conexión Router.....	39
Tabla 12-2: Terminales de conexión Coordinador.....	41
Tabla 13-2: Conexión de terminales entre placa impresa y lámpara LED-ex	42
Tabla 1-3: Mediciones de corriente DC.....	50
Tabla 2-3: Mediciones de voltaje DC	51
Tabla 3-3: Adquisición de posiciones.....	52
Tabla 4-3: Muestras de corriente, voltaje y cálculo de Coeficiente de variación	54
Tabla 5-3: Calidad de la señal con respecto a la distancia con línea de vista	55
Tabla 6-3: Calidad de comunicación con respecto a la distancia.....	57
Tabla 7-3: Ubicación del sistema.....	59
Tabla 8-3: Número de routers con respecto al rendimiento.....	64

Tabla 9-3: Consumo de corriente DC en el router	65
Tabla 10-3: Consumo de corriente DC en el coordinador	65
Tabla 11-3: Precio de elementos para el coordinador y routers	66

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1: Grupos de consumo de acuerdo al consumo energético.....	7
Figura 2-1: Grupo de luminarias usadas para el Alumbrado Público.....	9
Figura 3-1: Componentes luminaria LED.....	11
Figura 4-1: Topologías de Red WSN.....	16
Figura 1-2: Prototipo de red implementado.....	24
Figura 2-2: Diagrama de bloques del nodo Router.....	26
Figura 3-2: Diagrama de bloques del nodo coordinador.....	27
Figura 4-2: Lámpara LED-ex.....	27
Figura 5-2: Raspberry Pi 3.....	29
Figura 6-2: Arduino Uno R3.....	30
Figura 7-2: Conexión Internet mediante Ethernet.....	31
Figura 8-2: XBee Pro S2.....	32
Figura 9-2: Xbee Shield.....	33
Figura 10-2: Sensor de corriente ACS712.....	34
Figura 11-2: GPS NEO-6M.....	35
Figura 12-2: Relé 5V.....	36
Figura 13-2: Transistor 2N3904.....	37
Figura 14-2: Transistor 2N3904.....	38
Figura 15-2: Conexión electrónica del Router.....	39
Figura 16-2: Conexión electrónica del Coordinador.....	40
Figura 17-2: Circuito impreso.....	42
Figura 18-2: Funcionamiento del fotocontrol.....	12
Figura 19-2: Esquema de Conexión Eléctrica en CADe_SIMU.....	43
Figura 20-2: Diagrama de flujo para el router.....	45
Figura 21-2: Diagrama de flujo para el coordinador.....	47
Figura 22-2: Tablero metálico Beaucoup.....	48
Figura 1-3: Mediciones de corriente en DC.....	49
Figura 2-3: Mediciones de Voltaje en DC.....	51
Figura 3-3: Margen de error.....	52
Figura 4-3: Datos obtenidos en Cayenne para la estabilidad del sistema.....	53
Figura 5-3: Distancia para la calidad de la señal con línea de vista.....	55
Figura 6-3: Distancias para la calidad de la señal.....	56
Figura 7-3: Dato enviado del software al coordinador.....	58

Figura 8-3: Encendido manual de la lámpara	58
Figura 9-3: Mensaje de alerta	59
Figura 10-3: Sector de la implantación del prototipo de red	60
Figura 11-3: Dispositivo implementado	60
Figura 12-3: Coordinador con línea de vista al router	61
Figura 13-3: Comprobación de pruebas de comunicación	61
Figura 14-3: Control de luminarias.....	62
Figura 15-3: Alerta de falla mediante correo electrónico	62
Figura 16-3: Icono para la localización de la luminaria en Cayenne.....	63
Figura 17-3: Localización GPS en Google Maps	63
Figura 18-3: Simulación del tamaño del prototipo de red en Riverbed Moderler	64

ÍNDICE DE ANEXOS

- Anexo A:** Hoja de datos Arduino Uno R3
- Anexo B:** Hoja de datos sensor de corriente ACS712-5A
- Anexo C:** Hoja de datos módulo GPS NEO 6M
- Anexo D:** Hoja de datos Xbee Pro S2
- Anexo E:** Diagrama de conexión interno para Shield Xbee para Arduino
- Anexo F:** Hoja de datos Raspberry Pi 3
- Anexo G:** Hoja de datos transistor 2n3904
- Anexo H:** Hoja de datos relevador 05VDC
- Anexo I:** Configuración Xbee del Coordinador
- Anexo J:** Código Arduino del Coordinador
- Anexo K:** Código Arduino de Routers
- Anexo L:** Código Python para la Raspberry del Coordinador
- Anexo M:** Código GPS
- Anexo N:** Configuración Plataforma Cayenne
- Anexo O:** Pruebas Preliminares del Prototipo de red
- Anexo P:** Construcción e instalación del prototipo en la Empresa Eléctrica Ambato S.A. (EEASA)
- Anexo Q:** Simulación en Reverted Modeler para conocer el número máximo de routers

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

WSN: Wireless Sensor Networks (Red de sensores inalámbricos)

SAPG: Sistema de Alumbrado Público General

HID: High Intensity Discharge (Descarga de alta intensidad)

LED: Light-Emitting Diode (Diodo emisor de luz)

SO: Sistema Operativo

SBC: Single Board Computer (Computador de placa única)

SSR: Solid State Relay (Relé de estado sólido)

GPIO: General Purpose Input/Output (Entradas y salidas de propósito general)

IDE: Integrated Development Environment (Entorno de desarrollo integrado)

GPS: Global Position System (Sistema de posición global)

EEASA: Empresa Eléctrica Ambato S.A:

RESUMEN

El objetivo del trabajo de titulación fue diseñar e implementar un prototipo de una red de sensores inalámbricos para la supervisión y control de fallas en el alumbrado público. Una red con topología estrella, basada en comunicación ZigBee entre el nodo router y el nodo coordinador que componen el sistema. El primer nodo trabaja con una tarjeta de desarrollo Arduino para procesar la información de la luminaria proveniente de los sensores de corriente, voltaje y posición, para luego enviarla al coordinador mediante módulos Xbee. El segundo nodo trabaja con dos tarjetas de desarrollo: Arduino procesa la información de los nodos routers en conjunto con su luminaria propia y Raspberry Pi envía los datos obtenidos a una página web donde permite registrar el estado de las luminarias, su posición, el encendido, apagado, y el envío de notificaciones cuando existan fallas a través de mensajes de texto al grupo encargado de reparaciones. De las pruebas realizadas se obtiene que el sistema puede medir valores de voltaje con un error de ± 0.01 V, corriente con un error de ± 0.1 A. Puede establecer comunicación entre nodos a distancias de hasta 100 metros con obstáculos y 1,2 kilómetros con línea de vista sin pérdida de datos. Al evaluar la capacidad de la red se determinó que un nodo coordinador puede manejar 80 nodos routers. Se concluye que el prototipo implementado permite la supervisión en tiempo real de fallas del alumbrado público y se convertiría en una ayuda para la detección de fallas en las lámparas de alumbrado público, lo que puede influir en el ahorro energético. Se recomienda estudiar la posibilidad de disminuir el tamaño de los nodos que integran la red del prototipo e integrarlos como elementos en las lámparas de alumbrado público, así como ampliar la cobertura de comunicación entre nodos.

Palabras Clave: <COMUNICACIONES INALÁMBRICAS>, <ALUMBRADO PÚBLICO>, <ARDUINO>, <RASPBERRY PI>, <REDES DE SENSORES INALAMBRICAS (WSN)>, <COMUNICACIÓN ZIGBEE>, <BASE DE DATOS>, <PROCESAMIENTO DE INFORMACIÓN>.

ABSTRACT

The objective of the qualification work was to design and implement a prototype of a network of wireless sensors for monitoring and control of faults in public lighting. A network with star topology, based on ZigBee communication between the router node and the coordinator node that make up the system. The first node works with an Arduino development card to process the information of the luminaire coming from the sensors of current, voltage and position, and then send it to the coordinator using Xbee modules. The second node does not work with two development cards: Arduino processes the information of the routers nodes altogether with its own luminaire and Raspberry Pi sends the obtained data to a web where it allows to register the status of the luminaires, their position, the ignition, off and sending notifications when there are failures through text messages to the group in charge of repairs. Of the tests carried out, it is obtained that the system can measure voltage values with an error of ± 0.01 , current with an error ± 0.1 A. It can establish communication between remote nodes of up to 100 meters with obstacles and 1.2 Km with line of sight without loss of data. When evaluating the capacity of the network it was determined that a coordinating node can handle 80 routers nodes. It is concluded that the implemented prototype allows real-time supervision of lighting failures and would become an aid for the detection of faults in public lighting lamps, which may influence energy saving. It is recommended to study the possibility of reducing the size of the nodes that make up the prototype network and integrated as elements in the public lighting lamps, as well as expanding the communication coverage between nodes.

KEYWORDS: <Wireless Communications>, <Public Lighting>, <Arduino>, <Raspberry Pi>, < Wireless Sensor Networks (WSN)>, <ZigBee Communication>, <Database>, <Information Processing>.

INTRODUCCIÓN

ANTECEDENTES

La electricidad constituye una parte integral en la vida de los seres humanos. En el Ecuador, el consumo energético permite producir efectos luminosos, mecánicos, caloríficos, químicos y otros, presentes en todos los aspectos de la vida cotidiana como en los electrodomésticos, el transporte, la iluminación y la industria. La estadística anual y multianual del sector eléctrico ecuatoriano Realizado por el ARCONEL en el 2016 muestra que las empresas de distribución eléctrica cuentan con un total de 1.366.203 luminarias que corresponden a una potencia instalada de 176 MW correspondiendo al 5.96% de la potencia generada por el Sistema Nacional Interconectado (SNI) en el Ecuador de 3 206,73 MW (Tobar, Mosquera y Peñaherrera, 2017).

El alumbrado público implementado en Ecuador, sufre daños constantemente, producidos por factores como: el cumplimiento de la vida útil de la fuente de luz o daños en el sistema de encendido, transitorios de voltaje y corriente en la red eléctrica y actos de vandalismo. En el país, los sistemas de monitoreo a redes eléctricas existentes están destinadas a estaciones y subestaciones de conversión, donde los problemas son corregidos en pocas horas (Núñez Patricio y Pallo Juan, 2017)

La Agencia de Regulación y Control de Electricidad, en la regulación 005/14 denominada parámetros de continuidad del servicio de alumbrado público establece (CONELEC, 2012)“Las Distribuidoras, para efecto de control de la operación y funcionamiento de las luminarias, deberán llevar un control de aquellas reportadas como falladas, para lo cual utilizarán como sustento, reportes de operación y reclamos. En los reportes se deberá incluir el tipo de luminaria fallada. Sobre la base de este reporte se determinarán las tasas de falla mensuales”

En el estudio de proyectos referentes al monitoreo y control del Alumbrado Público se ha encontrado lo siguientes: en Europa se diseñó un sistema denominado Tvilight, alumbrado público con sensores. En México se diseñó un Sistema de Telegestión de Alumbrado Público Lumidim. En Ecuador se han desarrollado trabajos; en la ciudad de Guayaquil existen sistemas de Gestión del Alumbrado Público en el Campus de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, y un Sistema de Control del Alumbrado Público en la casa Don Bosco. Y en Ambato se cuenta con un Sistema de monitoreo y control de alumbrado público mediante una red de sensores RF.

De los trabajos estudiados, se han creado sistemas que únicamente permiten el encendido remoto de las luminarias, es por eso que la investigación pretende desarrollar un prototipo útil para la supervisión y alerta de fallas en tiempo real sobre el estado del alumbrado público.

JUSTIFICACIÓN TEÓRICA

La red de alumbrado público en el país es parte de los servicios fundamentales, para movilidad, ornamento y seguridad de la ciudadanía, es también considerado como una de los rubros más importantes, según datos obtenidos del balance Energético Nacional 2012 y el 2013, en responsabilidad del Ministerio Coordinador de los Sectores Estratégicos (MICSE): El consumo eléctrico del alumbrado público constituyó el 5,96% de la demanda máxima del Sistema Nacional Interconectado y el 4,95% del total de la energía de los diferentes sectores de consumo, tales como: residencial, comercial, industrial, etc. El costo que implica el servicio del alumbrado eléctrico es de 104.325.834 dólares aproximadamente para los años antes mencionados, este costo puede variar de acuerdo al mal estado de las luminarias, por lo cual proponemos un sistema de supervisión y mantenimiento preventivo para el alumbrado público el cual pretende ayudar en el ahorro y correcto funcionamiento de las luminarias (Anchatipan Aldaz y Claudio Calvopiña, 2016).

Los sistemas de Monitoreo y Control en cuanto al Alumbrado Público, son de gran importancia ya que generan beneficios tanto a las empresas públicas de electricidad como a los usuarios ya sea de forma directa o indirectamente, permitiendo un ahorro energético en alumbrado público

En los trabajos que se han realizado sobre el Alumbrado Público: Twilight en Europa, el diseñador Chintan Shah de la Universidad Tecnológica de Delft, en Holanda, creo un sistema de iluminación inteligente que utiliza sensores inalámbricos. Las lámparas se encienden en la presencia de una persona, una bicicleta o un automóvil. Se procura que las lámparas no se apaguen en su totalidad, sino que se mantienen con una luz tenue el resto del tiempo; además que adaptan su intensidad dependiendo de las condiciones climáticas. El diseñador también ideó una tecnología que distingue entre personas y animales pequeños (Chintan Shah, Twilight presents, 2014). El sistema Lumidim en México permite una supervisión exhaustiva continua de la red de alumbrado, enviando datos al momento desde cada uno de los circuitos a una central de monitoreo, de encendido, voltaje y corriente, además de fallas que permiten la detección oportuna de problemas (Telegestión de Alumbrado Público, 2015). De los trabajos existentes en Ecuador en las ciudades de Ambato y Guayaquil se han realizados sistemas de gestión de Alumbrado público que trata sobre el cambio de lámparas tradicionales (lámparas de vapor de sodio), por lámparas led, análisis sobre la calidad del alumbrado público y en algunos casos un monitoreo sobre fallas de las luminarias, o el encendido remoto de las mismas.

El presente proyecto en conformidad con lo dispuesto por el CONELEC se implementará de forma que trabaje a partir de la información obtenida sobre el mal estado de las luminarias para poder realizar mantenimientos correctivos y preventivos y así asegurar un monitoreo y correcta operatividad de las mismas en tiempo real, en el país existen únicamente sistemas que facilitan el encendido remoto de las luminarias de la red de alumbrado público y, sistemas básicos de monitoreo sobre fallas del alumbrado, pero no cumplen con las disposiciones del Consejo Nacional de Electricidad donde las distribuidoras de forma mensual deberían llevar un reporte de operación, un control de las lámparas en cuanto a su funcionamiento, cabe recalcar que esta investigación que se propone está acorde a las líneas de investigación de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo se centra en los objetivos del Buen Vivir, objetivo 3: Mejorar la vida de la población proporcionando un espacio público digno que brinde las condiciones necesarias de seguridad para los ciudadanos. Objetivo 6: Consolidar la transformación de la justicia y fortalecer la seguridad integral, en estricto respeto a los derechos humanos reduciendo la delincuencia común y organizada en lugares por falta de alumbrado, donde los ciudadanos son víctimas de robo ejemplo de inseguridad por las noches en los Barrios la Florida 1 y 2, Ciudadela Buenos Aires al norte de la ciudad de Riobamba. Objetivo 7: Garantizar los derechos de la naturaleza y promover la sostenibilidad ambiental territorial y global, evitando la contaminación ambiental que pueden producir luminarias que trabajen fuera de horarios establecidos especialmente en lugares donde existan lámparas tradicionales, este mismo problema se sustenta en el objetivo 8 busca consolidar el sistema económico social y solidario, de forma sostenible evitando que el estado genere gastos innecesarios en alumbrado público.

JUSTIFICACIÓN APLICATIVA

Es un sistema en forma de estrella para la transmisión de falla de las luminarias, donde cada nodo transmisor va a enviar la información sobre el estado de funcionamiento de cada una de las luminarias, misma que será obtenida por el nodo receptor, este nodo se va a encargar de realizar dos funciones: la primera es transmitir a una base de datos en el Centro de operaciones de la Empresa Eléctrica, donde se va a llevar un registro sobre el historial de la operatividad de las luminarias, la segunda función es enviar una notificación a través de un mensaje de texto al jefe de cuadrilla o al carro de turno para que proceda a dar solución en la luminaria, en los dos casos la transmisión de la información contendrá la ubicación exacta donde ocurra el daño.

OBJETIVOS

OBJETIVOS GENERALES

Diseñar un prototipo de WSN para la supervisión y alerta en tiempo real de fallas en luminarias del alumbrado público.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Estudiar las características del alumbrado público
- Analizar los requerimientos del sistema electrónico a implementar
- Determinar el diseño y los elementos electrónicos que permitan cumplir con los requerimientos
- Determinar los requerimientos hardware y software necesarios para cumplir con el diseño
- Evaluar si el sistema cumple con los requerimientos planteados

La metodología utilizada para el desarrollo del presente proyecto se basó en investigación bibliográfica, de campo y experimental para conocer las vulnerabilidades de sistema de iluminación pública y recopilar información necesaria para dar solución a los diferentes problemas que puedan existir en este tipo de servicio.

La memoria descriptiva del trabajo de titulación consta de tres capítulos: El primer capítulo define todo lo relacionado al marco teórico en la que se basa el prototipo. El segundo capítulo se enfoca a los pasos seguidos para la implementación. El tercer capítulo detalla las pruebas realizadas y los resultados obtenidos necesarios para establecer las conclusiones y recomendaciones.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

En este capítulo se realiza una investigación bibliográfica relacionada al alumbrado público, crecimiento del número de luminarias en el país, se realiza un estudio de ellas, y se realiza la selección de la más apropiada para el proyecto. Se establece los costos del sistema de alumbrado público. Se hace un estudio de una red de sensores inalámbricos y se elige la topología de red apropiada para el desarrollo del proyecto.

1.1. Alumbrado Público

Es un servicio para la iluminación artificial de parques públicos, vías públicas y demás áreas de libre circulación la cual no está a cargo de personas naturales o jurídicas. Su objetivo es proporcionar la visibilidad adecuada para el desarrollo normal de actividades en horas nocturnas (CONELEC, 2012). Provee confiabilidad de percepción y comodidad visual, aplicando la cantidad y calidad de luz sobre el área observada. Para cumplir estos requerimientos se debe utilizar una fuente de iluminación apropiada teniendo en cuenta su fotometría (CONELEC, 2012).

Las luminarias en su mayor parte contienen fotocontroles que permite el encendido y apagado como un interruptor automático. Sistema que inicia su funcionamiento aproximadamente a las 18:00 horas tiempo donde se presenta el pico de la demanda de energía. (INER, 2014)

Garantizar el funcionamiento de este servicio es de vital importancia como señala la Regulación No. CONELEC 008/11, en los artículos 30 y 31 de la Constitución de la República del Ecuador, las personas tienen derecho a un hábitat seguro y al disfrute pleno de la ciudad y sus espacios (CONELEC, 2012).

1.2. Costo del Sistema de Alumbrado Público General (SAPG)

Para el servicio se incluyen otros costos como son: alumbrado general, público, ornamental, sistemas de semaforización, sistemas de seguridad públicos y el alumbrado público intervenido.

La tarifa de alumbrado público se calcula en base a la tasa de fallo mensual del sistema considerando que no sea mayor a 0,02, se realiza el ajuste tarifario a todos los usuarios del SAPG en el mes $n+2$, aplicando la siguiente fórmula 1-1(CONELEC, 2012).

$$T_{APG'} = T_{APG} * [1 - (T_f - 0,02)] \quad (1-1)$$

Donde:

- T_{APG} = Tarifa de alumbrado público general
- $T_{APG'}$ = Tarifa de alumbrado público general ajustada se aplicará a los consumidores en el mes n+2
- T_f = Tasa de fallas mensuales por primario, se calcula mediante dos fórmulas:

$$T_f = \frac{\text{Número de luminarias en falla}}{\text{Número total de luminarias}} \quad (2-1)$$

$$T_f = 0,04 * (1 + x) \quad (3-1)$$

Se aplica la fórmula 2-1 cuando la empresa conoce el número de luminarias dañadas. Y la fórmula 3-1 en el caso de no conocer la empresa el número de luminarias, la tasa de falla para esos alimentadores será de 0,04 por una constante, la cual depende del número de meses consecutivos de la distribuidora sin información (CONELEC, 2012).

Donde:

- x = Número de meses sin registro

Los valores para x se los puede observar en la tabla 1-1:

Tabla 1-1: Valores de x

Meses consecutivos de no contar con información	x
2 meses	0,25
3 meses	0,5
4 meses	0,75
Más de 4 meses	1

Realizado por: Fernando Martínez, Franklin Ruiz, 2019

En la tabla 2-1 se establece el costo del servicio de alumbrado público del 2015 a nivel nacional requeridos como: administrar, operar, mantener los activos asociados al SAPG de manera eficiente, así como para reemplazar los activos que cumplan con su vida útil o se encuentren en estado defectuoso, además incluye un valor por expansión, el cual será determinado por el CONELEC en la demanda de crecimiento estudiada por cada empresa distribuidora (CNEL, 2015).

Tabla 2-1: Costo del servicio de alumbrado público del 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
	Azuay	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	137.322	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
Total Empresas Eléctricas		11,85	35.706.878	9.624.899	4.440.222	5.382.962	55.154.961
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	1.216.078	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	380.662	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 - Guayquil	10,78	9.665.766	3.385.153	129.376	867.851	14.048.146
Total CNEL EP		11,05	42.586.454	10.033.867	2.153.653	7.875.864	62.649.838
Total Distribuidoras		11,29	78.293.332	19.658.766	6.593.874	13.258.826	117.804.799

Fuente: (ARCONEL, 2016)

1.3. Número de luminarias instaladas en el país

La estadística anual y multianual del sector eléctrico ecuatoriano Realizado por el ARCONEL en el 2016 muestra que las empresas de distribución eléctrica cuentan con un total de 1'366.203 lámparas e a una potencia instalada de 218.363 kW. El total de luminarias registradas en la ciudad de Ambato hasta el mes de julio del 2018 es de 91182 que corresponde a una potencia instalada de 15.05 kW (ARCONEL, 2016). El crecimiento de la población y de su estilo de vida generan una mayor demanda de iluminación en el país para los sectores que no tienen este servicio hasta el año 2016, mismo que consta con un porcentaje de 0.01% correspondiente a un total de 504 clientes regulados en el país distribuidos en Empresas Eléctricas y Corporaciones Nacionales de Electricidad (CNEL), en comparación a los grupos de consumo como se muestra en la figura 1-1 (ARCONEL, 2016).

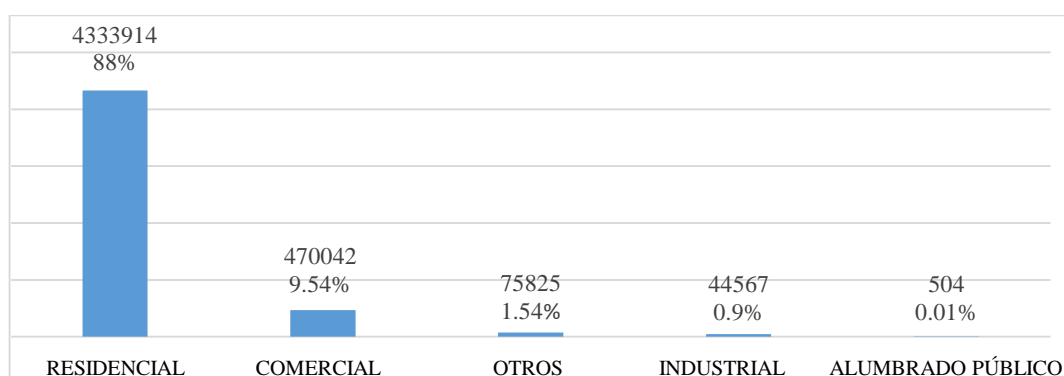


Figura 1-1: Grupos de consumo de acuerdo al consumo energético
Realizado por: Martínez, Fernando; Ruiz Franklin; 2019

1.4. Investigaciones relacionadas con la temática

Dentro de la investigación se realizó un estudio de trabajos realizados sobre el Alumbrado Público. En el mundo los más representativos son: Tvilight en Europa, el diseñador Chintan Shah de la Universidad Tecnológica de Delft, en Holanda, creó un sistema de iluminación inteligente de sensores inalámbricos. Las lámparas se encienden en la presencia de una persona, una bicicleta o un automóvil. Las lámparas no se apagan en su totalidad, sino se mantienen con una luz tenue el resto del tiempo; además, adaptan su intensidad dependiendo de las condiciones climáticas. El diseñador también ideó una tecnología para distinguir entre personas y animales pequeños (Chintan Shah, Tvilight presents, 2014), (Panguloori y Mishra, 2014). El sistema Lumidim en México permite una supervisión exhaustiva continua de la red de alumbrado, enviando datos al momento desde cada uno de los circuitos a una central de monitoreo, de encendido, voltaje, corriente y fallas, estas permiten la detección oportuna de problemas.

De los trabajos existentes en Ecuador en las ciudades de Ambato y Guayaquil se han realizados sistemas de gestión de Alumbrado público sobre el cambio de lámparas tradicionales (lámparas de vapor de sodio), por lámparas led, análisis sobre la calidad del alumbrado público, monitoreo sobre fallas de las luminarias, encendido y apagado de forma remota (Soto Noboa y Barrera Rovayo, 2013). En los trabajos investigados en el país se observa que hay sistemas de control de fallas en luminarias mediante sensores fotoeléctricos y a base de estos sensores se realiza el encendido y apagado de forma remota pero no cuentan con una base de almacenamiento de datos y no se han implementado en el campo real quedando únicamente en maquetas o estudios, motivo por el cual surge la necesidad de implementar un prototipo de red que trabajará con valores de corriente y voltaje para tener un control más amplio sobre diferentes fallas que pueden presentar las lámparas, también se presenta el envío de notificaciones de alerta por medio de correo electrónico o mensaje de texto y una base de datos para el almacenamiento de información sobre el estado de funcionamiento de los dispositivos los cuales podrán ser analizados por el departamento encargado del alumbrado público de la empresa distribuidora.

Para el desarrollar la propuesta de un prototipo de red se parte del estudio de la realidad de la zona, tipos de luminarias existentes en el alumbrado público y red sensores inalámbricos: topologías y elementos que la constituyen

1.5. Realidad de la zona

El poste unificado municipal debe soportar el cableado de líneas de energía eléctrica de media tensión de 13.8kV; de baja tensión de 220/110 V. El voltaje utilizado para alimentar las luminarias del alumbrado público es de 220 V. Se establece que la distancia entre postes en zona urbana es

de 40 m y la altura del poste es de 18 metros dejando el uso exclusivo de 2 metros para las luminarias (Especificación Técnica Postes de Hormigón, 2018), (Especificaciones Técnicas de luminarias, 2018).

1.6. Tipos de Luminarias

En la figura 2-1, se observan los grupos de luminarias usadas que normalmente pertenecen a dos grupos principales; Luminarias HID y Luminarias LED.



Figura 2-1: Grupo de luminarias usadas para el Alumbrado Público
 Realizado por: Martínez, Fernando; Ruiz, Franklin; 2019

No todas presentan el mismo rendimiento energético. Realizado una correcta selección de lámparas, se consideró el rendimiento (lumen/W). En tabla 3-1, se detalla las luminaria existentes clasificadas por tipo y eficacia, tomando en cuenta que eficacia es el resultado que se desea esperar después de ejecutar una acción (Trasancos, 2006).

Tabla 3-1: Eficacia de focos utilizados en alumbrado público

Grupo	Tipo	Eficacia (Lm/W)
Luminarias HID	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
Luminarias LED	LED	80-160

Realizado por: Fernando Martínez, Franklin Ruiz, 2019

Las lámparas presentan disminución del rendimiento con el tiempo (lumen/potencia). En la tabla 4-1, se detalla el tipo de luminaria basado en el número de horas de vida útil (Trasancos, 2006).

Tabla 4-1: Vida útil promedio de lámparas utilizadas en alumbrado público

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

Realizado por: Fernando Martínez, Franklin Ruiz, 2019

Al analizar la tabla 3-1 y 4-1, se observa que las luminarias de tipo LED tienen mayor tiempo de vida útil y eficacia. Por lo cual se determina que este tipo de lámpara es la más adecuada para el proyecto.

1.6.1. Luminarias LED

Son dispositivos basados en la reciente tecnología de Diodo Emisor de Luz presentando mejores prestaciones en eficiencia y ahorro energético que las luminarias convencionales. Ayudan al medio ambiente porque no hay una composición de la sustancia tóxica en comparación con otros tipos de lámparas. LED han reemplazado las lámparas de sodio y las lámparas fluorescentes, que se han utilizado durante muchas décadas (Jettanasen y Pothisarn, 2014).

Las luminarias para uso en intemperie tienen una capacidad de 30 W a 400W de consumo. En la figura 3-1 representa los componentes de la luminaria LED (Alumbrado Público, 2017).

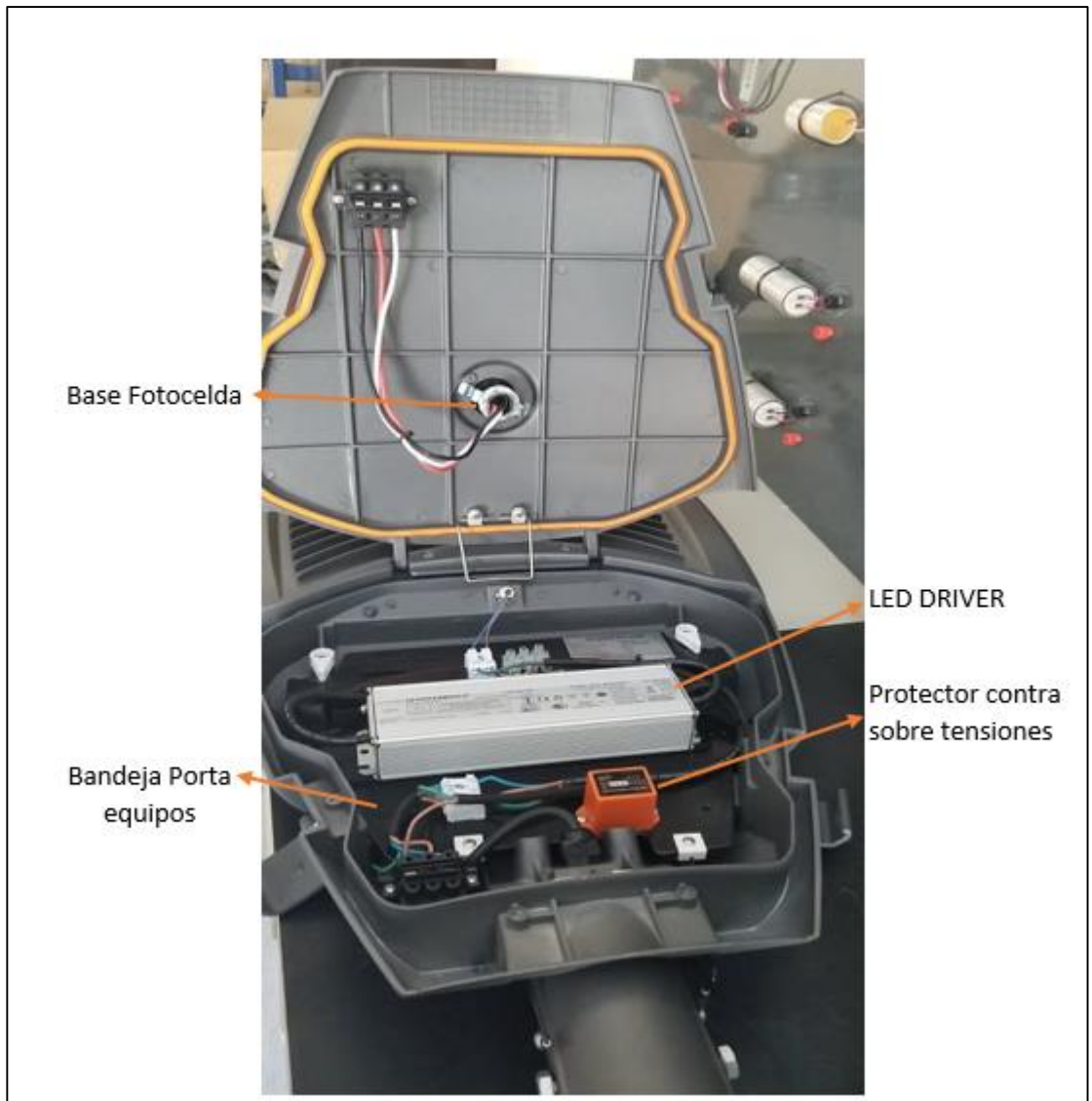


Figura 3-1: Componentes luminaria LED
Realizado por: Martínez, Fernando; Ruiz, Franklin; 2019

- **LED Driver:** Las luminarias están equipadas por drivers dimerizables o programables con la posibilidad de ajustar la corriente de salida para que el módulo LED suministre el flujo luminoso, según el nivel de iluminación requeridos en el diseño a implementar en vías. Para generar un ahorro energético es posible programar diferentes niveles de iluminación en horarios determinados. Cuentan con puertos de comunicación 1-10V (Catálogo Luminarias Para Exterior, 2017).
- **Protector contra sobre tensiones (SPD):** Conocido también como “Led Driver Surge Protector”, está diseñado para el uso de luminarias LE, ofreciendo protección contra sobretensiones provenientes de la red y por descargas atmosféricas (Alumbrado Público | M.T.E, 2017).
- **Bandeja porta equipos:** Los equipos electrónicos se colocan sobre una lámina de acero galvanizado, con la posibilidad de desconexión rápida de los bornes de conexión entre el

módulo LED y la alimentación eléctrica mediante conectores enchufables, para un fácil mantenimiento (Alumbrado Público | M.T.E, 2017).

- **Fotocontrol:** es un dispositivo para conectar o desconectar el circuito en forma automática en función al nivel luminoso del entorno en el cual se encuentra (Alumbrado Público | M.T.E, 2017). En la figura 4-1 se puede apreciar el funcionamiento del fotocontrol.
 - ✓ Marrón- Fase
 - ✓ Azul- Neutro
 - ✓ Rojo- Fase controlada

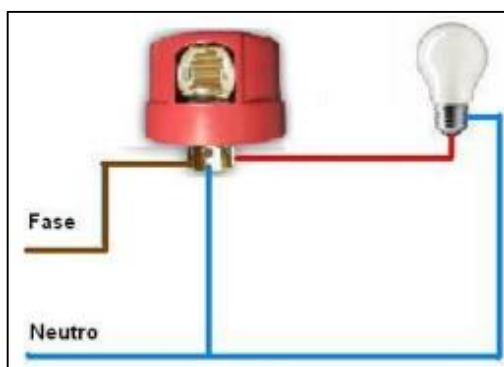


Figura 4-1: Funcionamiento del fotocontrol

Realizado por: Martínez, Fernando; Ruiz, Franklin; 2019

- **Elementos adicionales:** (Alumbrado Público | M.T.E, 2017).
 - Base para fotocelda.
 - Bandeja porta equipo desmontable, sin herramientas.
 - Resistencia IK09 para la carcasa de la luminaria.
 - Resistencia IK08 para el vidrio.

1.6.1.1. Causas de daño en luminarias LED

Existen varios problemas que pueden presentar las luminarias. Para su estudio se los ha dividido en cuatro grupos principales, los cuales se representan en la tabla 5-1 (Ignacio J y Leandro G, 2016):

Tabla 5-1: Causas de daños en las luminarias LEDS.

Causa de daño	Análisis
Depreciación de flujo lumínico del LED	Cuando ha transcurrido el tiempo de uso del led este va perdiendo su flujo lumínico para esto se realizan pruebas mediante el flujo lumínico en función del tiempo.

Envejecimiento de materiales	Al tener el contacto con el ambiente los elementos expuestos se oxidan, aparece humedad, si los leds tienen contacto con agua se generarían fallos catastróficos
Transferencia térmica deficitaria	Los problemas más comunes que se encuentran en luminarias led es la transferencia térmica en LEDS individuales por motivo de dilataciones o contracciones
Control fotoeléctrico inoperable	Verificar que el foto control se encuentre bien ajustado en su base, cubrirlo durante algunos segundos y reemplazarlo si los LEDS no enciende
Alimentación defectuosa o inapropiada	Examinar la línea de alimentación al LED Driver y del LED Driver a los LEDS para establecer continuidad. Asegurar el buen estado de las conexiones.
Tensión baja en la luminaria	Para la mayoría de los balastos este valor está entre 10% del valor nominal
Fin de la vida útil del LED Driver Surge Protector	Verificar si este dispositivo está funcionando correctamente, midiendo continuidad hacia el Led Driver ya que protege de sobre-picos y no generar un daño permanente a la lámpara.

Realizado por: Fernando Martínez, Franklin Ruiz, 2019

1.7. Redes Inalámbricas de Sensores (WSN)

El estándar IEEE 802.15.4, tal como se ha mencionado, la WSN está conformada por objetos que contienen sensores y transmisores embebidos con capacidad para monitorizar y reaccionar en el ambiente donde operan. La lógica embebida también permite el control remoto y la monitorización, proporcionando la oportunidad de vigilar y analizar fuentes de datos con información constante, lo cual repercute en el manejo y búsqueda de datos en tiempo real. En ese sentido, desde el año 2003 el IEEE 802.15.4 ha sido el estándar más empleado en las WSN, mismo que determina las comunicaciones en capas físicas y de control de acceso al medio - MAC (capas uno y dos del modelo de Interconexión de Sistemas Abiertos - OSI) en las redes de sensores

inalámbricos de área personal de baja velocidad (LR-WPAN) (Swami et al., 2007), (Zheng y Jamalipour, 2009), (Wireless Sensor Networks, 2016).

Las LR-WPAN son caracterizadas por la baja tasa de datos transportados, el bajo consumo de energía requerido para su funcionamiento (la duración de la batería es de varios meses o incluso años, dependiendo del nivel de actividad), la variabilidad de la topología de red y el conocimiento de la ubicación. (Zheng y Jamalipour, 2009), (Swami et al., 2007).

Una red de sensores inalámbrica presenta ventajas como:

- La comunicación inalámbrica en aplicaciones industriales tiene muchas ventajas. Además de una mayor fiabilidad, la ventaja más reconocida es el bajo costo de instalación. Los emplazamientos industriales suelen ser entornos severos, con requisitos muy exigentes en cuanto al tipo y calidad del cableado. Prescindir de los cables significa instalaciones más baratas, sobre todo cuando se trata de modernizar o actualizar versiones antiguas; un caso en proyectar los cables adicionales necesarios en una instalación ya de por sí congestionada. (Zheng y Jamalipour, 2009).
- La definición formal no sea aplica directamente en marcos industriales, WSN introduce nuevas técnicas de interconexión, ayudan a reducir más el costo de instalación de los sensores inalámbricos. La naturaleza ad-hoc de WSN permite un sencillo ajuste y configuración. Para apoyar la cobertura de sensores inalámbricos a nivel de planta se ha de minimizar el trabajo manual de configuración de la red. Además, la configuración de tipo 'plug and produce' (enchufar y producir) de la red permite desplegar redes temporales de sensores para garantizar el mantenimiento o la localización y corrección de fallos. (Swami et al., 2007).

Las WSN tienen capacidad de auto restauración, si se avería un nodo, la red encontrará nuevas vías para encaminar los paquetes de datos. De esta forma la red sobrevivirá en su conjunto; existen nodos individuales que pierden potencia o se destruyen. Las capacidades de auto diagnóstico, autoconfiguración, auto organización, auto restauración y reparación, son propiedades que han desarrollado este tipo de redes para solventar problemas que no eran posibles con otras tecnologías. (Emary y Ramakrishnan, 2013).

- Topología dinámica: Facilidades para cambiar su forma.
- Variabilidad del canal: Canal radio, transmiten los datos expuestos a frecuentes variaciones, perjudican la comunicación.

- Integración con otras tecnologías: agricultura, biología, medicina, minería, etc.
- Posibilita aplicaciones impensadas. Interacción de los seres humanos con el medio. Redes vehiculares, etc.
- Menor uso de recursos.
- Tolerancia a errores: Inmunidad frente a caídas en nodos.
- Ausencia de infraestructura de red: Los nodos actúan de transmisores, receptores o enrutadores, no necesitan periféricos para realizar estas funciones.
- Comunicaciones multisalto o broadcast.
- Limitación en el hardware: Poseer en cuenta el lugar del emplazamiento de los nodos para el desarrollo de su soporte físico.

1.7.1. Elementos de una WSN

Una red de sensores inalámbricos está compuesta por 5 elementos para el correcto funcionamiento de los mismos. La figura 4-1 indica los componentes de una WSN, a continuación, se detalla cada uno de ellos.

- **Sensores:** Existen de diferentes tipos y tecnologías los cuales se encargan de recoger la información y convertirlas en señales eléctricas.
- **Nodo sensor:** O nodo router, recoge y procesa los datos de los sensores mediante tarjetas de desarrollo y envían la información al coordinador con comunicación inalámbrica.
- **Estación base:** O nodo coordinador, recolecta la información enviada de los routers para enviarla a un administrador externo mediante tarjetas de comunicación.
- **Red Inalámbrica:** Se basa en el estándar 802.15.4 Zigbee.

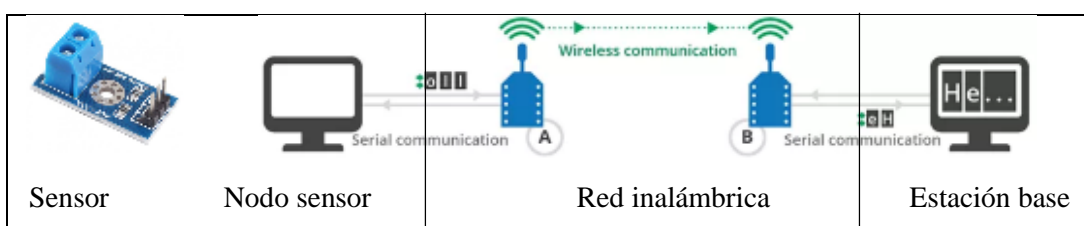


Figura 4-1: Componentes de una WSN.

Realizado por: Martínez, Fernando; Ruiz, Franklin; 2019

1.7.2. Topología de Red WSN

Para implementar una red WSN es necesario analizar varios factores como la cantidad de routers que se requieran, la tasa de datos a ser enviada, la distancia de transmisión y requerimientos de energía, para lo cual existen tres tipos de topologías que pueden ser aplicadas como se aprecia en la figura 5-1. (Karl y Willig, 2007).

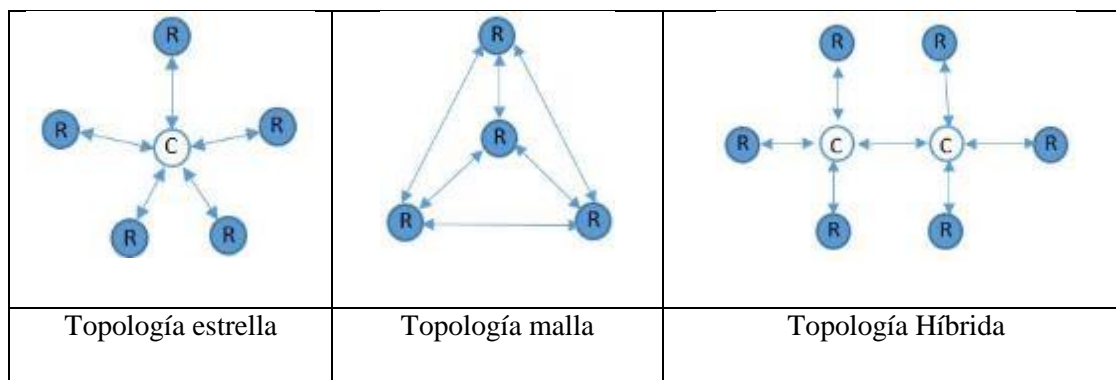


Figura 5-1: Topologías de Red WSN.

Realizado por: Martínez, Fernando; Ruiz, Franklin; 2019

Topología se refiere a la configuración de los componentes hardware y como los datos son transmitidos a través de esa configuración, cada arquitectura es apropiada bajo determinadas circunstancias y puede ser inapropiada en otras. En la tabla 6-1 se detalla las características de las topologías de red basado en la simplicidad y redundancia de datos (Karl y Willig, 2007).

Tabla 6-1: Características de las topologías de red WSN

Topología de una red de sensores		
Topología estrella	Topología malla	Topología híbrida (estrella-malla)
<ul style="list-style-type: none"> • Es un sistema donde la información enviada sólo da un salto y donde todos los nodos sensores están en comunicación directa con la puerta de enlace. • Todos los nodos sensores son idénticos, nodos finales, y la puerta de enlace capta la información de todos ellos. • La puerta de enlace también es usada para transmitir datos al 	<ul style="list-style-type: none"> • Es un sistema multisalto, donde todos los nodos son routers y son idénticos. • Cada nodo puede enviar y recibir información de otro nodo y de la puerta de enlace, en ésta los nodos pueden enviarse mensajes entre ellos. • La propagación de los datos a través de los nodos hacia la puerta de enlace hace posible por lo menos en teoría, crear una red con una 	<ul style="list-style-type: none"> • Este tipo de red busca combinar las ventajas de los otros dos tipos, la simplicidad y el bajo consumo de una topología en estrella, así como la posibilidad de cubrir una gran extensión y de reorganizarse ante fallos de la topología en malla. • Este tipo crea una red en estrella alrededor de routers pertenecientes a una red en malla.

<p>exterior y permitir la monitorización de la red.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Los nodos finales no intercambian información entre ellos. • La topología en estrella es la menor en gasto, pero por el contrario está limitada por la distancia de vía radio entre cada nodo y la puerta de enlace. 	<p>extensión posible ilimitada.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Este tipo, también es altamente tolerante a fallos, cada nodo tiene diferentes caminos para comunicarse con la puerta de enlace. • Si un nodo falla, la red se reconfigurará alrededor del nodo fallido automáticamente. 	<ul style="list-style-type: none"> • Los routers dan la posibilidad de ampliar la red y de corregir fallos en estos nodos y los nodos finales se conectan con los routers cercanos ahorrando energía.
<ul style="list-style-type: none"> • 	<ul style="list-style-type: none"> • 	<ul style="list-style-type: none"> •

Realizado por: Fernando Martínez, Franklin Ruiz 2019

Al analizar la tabla 6-1 se determina que la topología de red tipo estrella es la que posee mayor simplicidad, la información enviada por los nodos sensores se comunican directamente con la puerta de enlace. No se presenta redundancia de datos, los nodos sensores no se comunican entre sí como en la topología tipo malla o híbrida; por lo cual se establece que esta topología es la más adecuada para el proyecto.

Para la creación de la propuesta del prototipo de red se utilizan diferentes componentes electrónicos

1.8. Tarjetas de desarrollo para el coordinador

En el mercado existen gran variedad de tecnologías que permiten conectarse a la red de sensores con el servidor y el cliente para monitorear el sistema de alumbrado público. Entre las más importantes tenemos: Raspberry Pi, Orange Pi y HummingBoard. En la tabla 7-1 se realizó un análisis comparativo de los ordenadores de placa simple basándose en la velocidad de transmisión, velocidad de procesamiento y frecuencia de reloj (Raspberry-Pi-Model-Bplus-Product-Brief, 2016), (Orange Pi 2G-IOT User Manual, 2016), (Brochure_iMX6_Humming_Board, 2015).

Tabla 7-1: Análisis comparativo de los ordenadores de placa simple.

Ordenadores de placa simple			
Parámetros Técnicos	Raspberry Pi	Orange Pi	HummingBoard
SOC	Broadcom BCM2836	ARM Cortex-A7	i.MX6 Dual Lite
CPU	ARM11 ARM v7 Cortex-A7	Allwinner H3	ARM A9
Núcleos	4	2	2
Frecuencia de reloj	900 MHz	1,6 GHz	1,2 GHz
GPU	Broadcom VideoCore IV 250	ARM Mali-400 MP2 GPU	Vivante GC880
RAM	1 GB LPDDR2	1 GB DDR3	1 GB DDR3
USB 2.0	4	3	2
Puerto Ethernet	10/100 Mbps	10/100 Mbps	10/100 Mbps
Consumo	5V, 600mA	5V, 500mA	5V, 500mA
Accesibilidad	Cualquier parte del mundo	Ciertos lugares	Ciertos lugares

Realizado por: Fernando Martínez, Franklin Ruiz 2019

Al hacer el análisis de la tabla 7-1, se observa que Raspberry Pi posee mayor número de núcleos generando aumento en velocidad de procesador y cuenta con más número de puertos USB; por lo cual se determina que este tipo de ordenador de placa simple es el más adecuado para el proyecto.

1.9. Tarjeta de desarrollo para el router

Dentro del sistema poseen: la función de encender, apagar y procesar los datos adquiridos por los sensores de voltaje, corriente y de la posición. Otra de sus funciones es controlar los actuadores para el encendido y apagado de las luminarias. En la tabla 8-1 se realizó un análisis de las plataformas de hardware libre que permiten interactuar con el sistema, teniendo en cuenta que deben ser compatibles con módulo de comunicación inalámbrica y poseer librerías soportadas por la comunidad (Arduino, 2015), (getting-started-with-flora, 2015).

Tabla 8-1: Análisis de plataformas de hardware libre

Tarjeta de procesamiento			
Parámetros Técnicos	Arduino	Flora Adafruit	Pingüino
Núcleo	ATmega328p	ATmega32u4	PIC18F2550
Alimentación	7V-12V	3,3V	7V-12V
Voltaje operación	3,3V-5V	3,3V	2V-5,5V
Corriente terminales I/O	40mA	-	25mA
Módulos de expansión	Si	no	si
Accesibilidad	Cualquier parte del mundo	Cualquier parte del mundo	Cualquier parte del mundo

Realizado por: Fernando Martínez, Franklin Ruiz 2019

Al analizar la tabla 8-1 se puede determinar que Arduino es la más adecuada para el proyecto ya que cuenta con voltajes de operación de 3,3V a 5V, los cuales pueden ser requeridos por sensores, módulos de comunicación inalámbrica y posee módulos de expansión.

1.10. Comunicación por Radiofrecuencia

La topología de red de la propuesta de prototipo a implementar en el Alumbrado público es necesario el uso de dispositivos para ambientes abiertos, es obligatorio el uso de dispositivos capaces de brindar una comunicación inalámbrica estable para el envío y recepción de datos en la tabla 9-1 se establece un análisis técnico de los módulos de comunicación por radiofrecuencia,

para lo cual se analiza su protocolo de comunicación, nodos capaces de soportar por subred y el alcance de comunicación (XBee, 2014), (Bluetooth, 2017), (RFMODULOS433MHZ001, 2015).

Tabla 9-1: Análisis técnico de módulos de comunicación por radiofrecuencia

Módulos de radiofrecuencia			
Parámetros Técnicos	Xbee	Bluetooth	Radiofrecuencia
Dispositivo Interno	XB24-Z7WIT-004	HC-05	Emisor Receptor
Protocolo	Zigbee	Bluetooth v2.0 +EDR	Emisor (FS1000A) Receptor (XY-MK-5V)
Alcance de comunicación	1 km	100 m	300 m con antena externa
Interfaz de comunicación	UART	UART	UART
Velocidad TX	250Kbps	2Mbps	4Kbps
Nodos por subred	65535 nodos distribuido en 255 subredes	8 nodos en una subred	-
Frecuencia de trabajo	2,4GHz	2,4 GHz- 2,8GHz	433MHz
Accesibilidad	Cualquier parte del mundo	Cualquier parte del mundo	-

Realizado por: Fernando Martínez, Franklin Ruiz 2019

Al analizar la tabla 9-1 se determinó que Xbee es el más adecuado para el proyecto porque posee protocolo de comunicación ZigBee, soporta más número de nodos por subred y la distancia de comunicación es mayor.

1.11. Sensor de Corriente

Para la medición de corriente se requiere un sensor que sea capaz de medir valores máximos de dos amperios en corriente continua. En la tabla 10-1 se realiza un análisis de sensores de corriente para arduino basado en su rango de medición (Current Sensor, 2014), (SCT, 2014).

Tabla 10-1: Análisis de sensores de corriente para Arduino

Sensores de corriente para Arduino		
Parámetros Técnicos	ACS	SCT
Rango	0A-5A	0A-100 ^a
Señal de salida	0V-5V	0mV-5mV
Salida lineal	Si	Si
Acoplamiento	Si	No
Accesibilidad	Cualquier parte del mundo	Cualquier parte del mundo

Realizado por: Fernando Martínez, Franklin Ruiz 2019

Al analizar la tabla 10-1, se observa que el sensor ACS posee un rango de medición de cero a cinco amperios el cual es requerido para los valores de la luminaria, determinándolo como el adecuado para el diseño de la red de sensores.

1.12. Módulo GPS

Para obtener la ubicación de las luminarias es necesario el uso de un módulo GPS para Arduino. En la tabla 11-1 se establece un análisis de módulos GPS para arduino disponibles en el mercado (GlobalTop-FGPMOPA6H-Datasheet-V0A, 2016), (Ublox, 2017).

Tabla 11-1: Análisis de módulos GPS para Arduino

Módulos GPS		
Parámetros Técnicos	Ublox	Adafruit
Alimentación	3V-5V	3V-5,5V

Interface	Serial UART	Serial
BAUDRATE	9600	9600
Frecuencia de refresco	5Hz	1 a 10 Hz
Accesibilidad	Cualquier parte del mundo	Ciertos lugares

Realizado por: Fernando Martínez, Franklin Ruiz 2019

Al analizar la tabla 11-1 se observa que los dos tipos de módulos GPS presentan las mismas características, pero Ublox se lo puede adquirir en el mercado local, determinándose que es el más adecuado para el proyecto.

1.13. Control

La etapa de potencia dentro de las luminarias LED está definida por el fotocontrol. Se requieren dispositivos de control. En la tabla 12-1, se realiza un análisis de conmutadores electromagnéticos basado en su tipo de aislamiento (Relés-Estado-Solido, 2016), (Ssingle-Relay, 2015).

Tabla 12-1: Análisis de conmutadores electromagnéticos

Conmutadores electromagnéticos		
Parámetros Técnicos	Electromecánico	Estado Sólido (SSR)
Tipo de aislamiento	Aislamiento galvánico entre circuito de mando y contactores de ejecución	-
Polaridad de Salida	No afecta a los de estado mecánico	Afecta a algunos tipos de SSR

Realizado por: Fernando Martínez, Franklin Ruiz 2019

Al analizar la tabla 12-1, se observa que el relevador mecánico posee aislamiento galvánico entre el circuito de mando y contactores de ejecución, por lo cual se determina que es el adecuado para el desarrollo del proyecto.

CAPÍTULO II

MARCO METODOLÓGICO

En este capítulo se especifica el diseño del prototipo de red para el control de fallas de luminarias, describiendo los diagramas de bloque de los nodos que integra la red de sensores, se selecciona el *hardware* que lo conforma, se describen los esquemas de conexión; electrónicos y eléctricos de los dispositivos. Se describe la selección del *software* y los algoritmos usados mediante diagramas de flujo, y se detalla la página web desarrollada para administrar la información compilada del sistema.

2.1 Requerimientos del prototipo de red

Una vez determinados los conceptos teóricos relacionados al tema, se especifica los requerimientos para el diseño del prototipo de red para el control de fallas en luminaria. Los requerimientos del sistema son los siguientes:

- Obtener mediciones válidas en tiempo real de voltaje y corriente
- Determinar la posición geográfica de las luminarias
- Red sin redundancia de datos y bajo consumo de energía
- Almacenar la información en un a base de datos en internet
- Detectar y alertar sobre fallas en la luminaria
- Encender y apagar de forma remota las luminarias
- Ser de bajo costo, fácil adquisición e instalación.

2.1.1 *Concepción universal del diseño hardware del prototipo de red*

La concepción general del prototipo de red se puede observar en la figura 1-2, donde se aprecia los nodos que integran el sistema para la detección de fallas, la transmisión de datos, procesamiento de la información y control de actuadores.

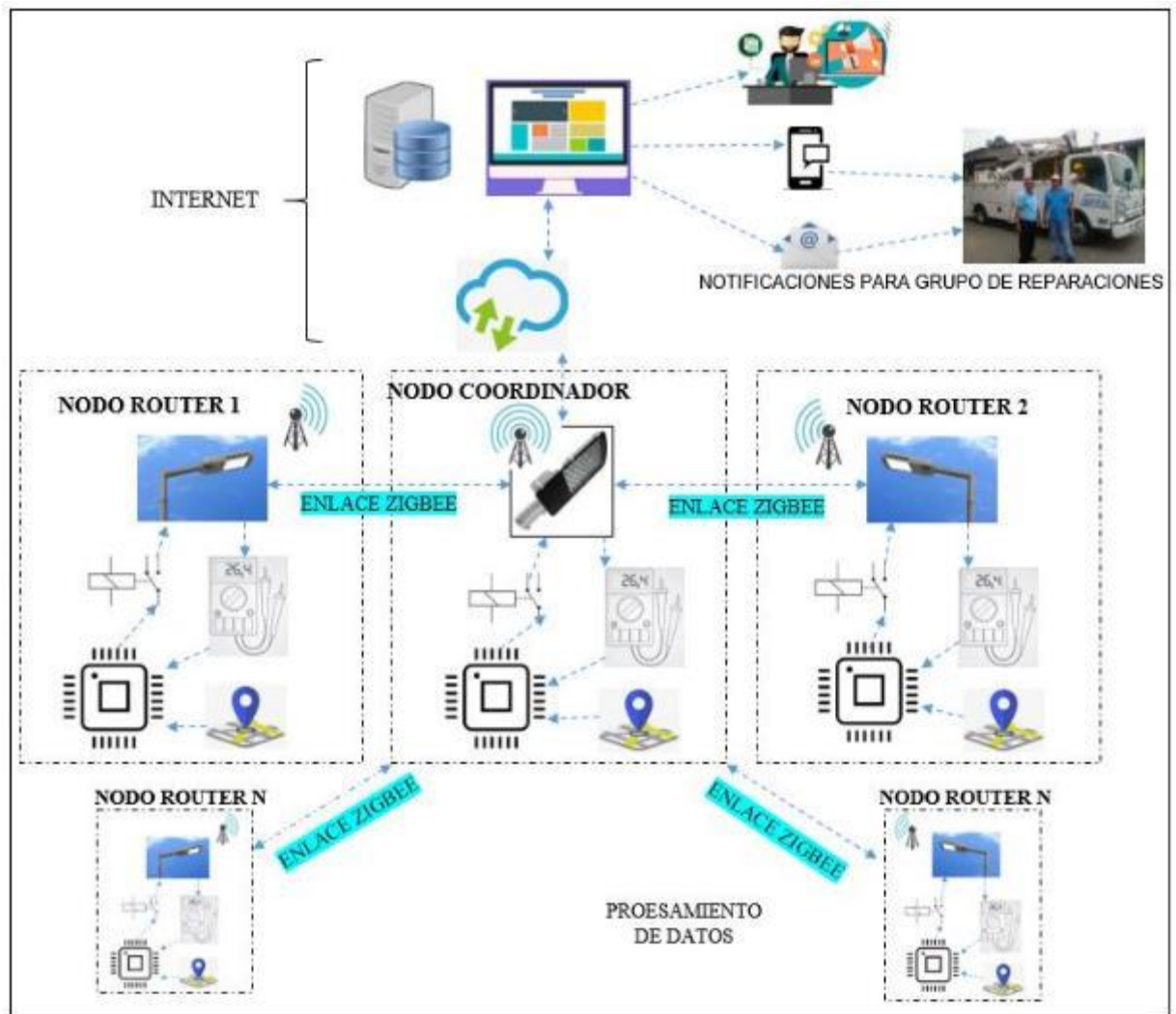


Figura 1-2: Prototipo de red implementado
Realizado por: Martínez, Fernando; Ruiz, Franklin; 2019

- **Nodo Router:** Es el encargado de supervisar el funcionamiento de la luminaria, recolectar y suministrar información al nodo coordinador. Cuenta con dispositivos electrónicos como sensor de corriente, módulo de localización GPS, divisor de voltaje, actuadores y una tarjeta de procesamiento. Al recolectar los datos o mediciones deberán enviar al nodo coordinador mediante comunicación ZigBee con el uso de tarjetas Xbee y realizarán el encendido y apagado de las luminarias de forma independiente.
- **Nodo Coordinador:** Una de sus funciones es realizar el mismo trabajo de un router para procesar la información obtenida de su propia luminaria. Se comunica mediante ZigBee con cada nodo router para recoger los datos y enviar instrucciones de control. Posee una tarjeta Raspberry Pi la cual se conecta a través del puerto serial con el arduino para recoger la información de todos los nodos y enviarlos mediante internet a una página web desarrollada en Cayenne, visualizada en el departamento de alumbrado público en la Empresa Eléctrica Ambato (EEASA).

- Cuando la información sea enviada a la página web será controlada y manipulada por un administrador, esta persona se encargará de analizar el funcionamiento de las luminarias y podrá encender o apagar cada luminaria independientemente del fotocontrol propio de la lámpara. Dentro de Cayenne existe el almacenamiento de información en una base de datos y se configurará eventos o triggers los cuales se encargan de enviar notificaciones mediante mensajes de texto o correos electrónicos al o los grupos de reparaciones.

2.1.2 Arquitectura del prototipo de red

Consta de dos nodos tanto del nodo router como del nodo coordinador. En cada módulo se destalla los diagramas de bloques y su funcionamiento

2.1.2.1 Diagrama de bloques del nodo router

El diagrama de bloques que se observa en la figura 2-2, está compuesto por cinco bloques:

- **Adquisición de datos:** Se encarga de leer los terminales analógicos donde se encuentran conectados los dispositivos que permiten medir corriente y voltaje. Lee el terminal digital donde está conectado el módulo GPS para obtener la posición de la luminaria.
- **Fuente de alimentación:** Provee de energía al nodo router mediante un conversor de corriente alterna a corriente continua.
- **Procesamiento de datos:** Está compuesto por un arduino uno R3 que posee entradas analógicas para poder realizar el acondicionamiento de las señales obtenidas por los sensores.
- **Transmisión ZigBee:** Los datos acondicionados en el bloque de procesamiento son enviados al nodo coordinador por medio de comunicación ZigBee y recibe instrucciones para el bloque de control de actuadores.
- **Control de actuadores:** está compuesto por relés electromecánicos para el encendido y apagado de la luminaria.

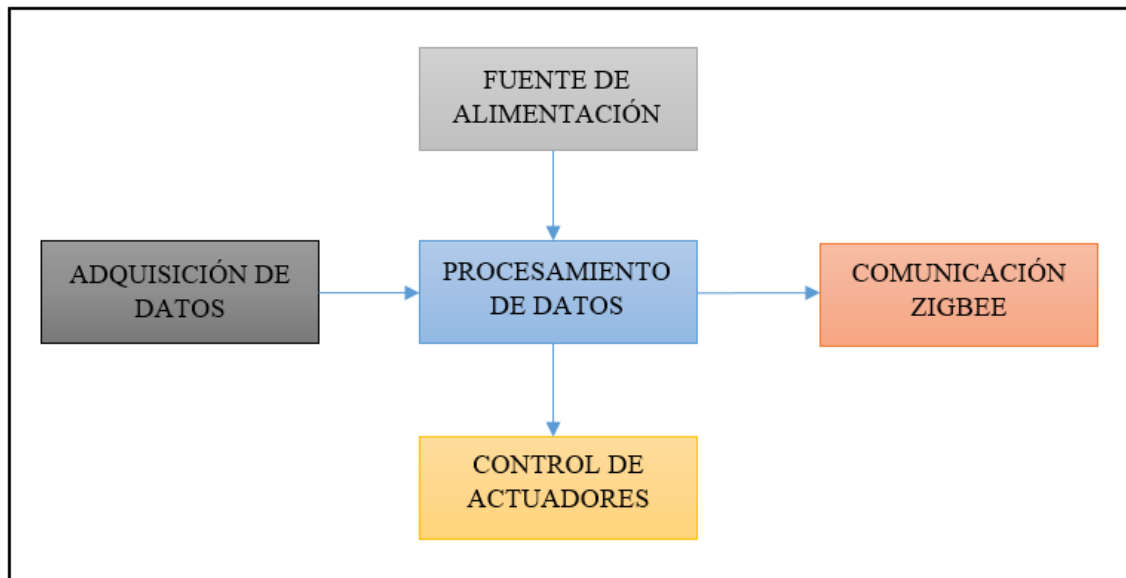


Figura 2-2: Diagrama de bloques del nodo Router

Realizado por: Martínez, Fernando; Ruiz, Franklin; 2019

2.1.2.2 Diagrama de bloques del nodo coordinador

El diagrama de bloques que se aprecia en la figura 3-2, está formado por seis bloques:

- **Adquisición de datos:** Se encarga de leer los terminales analógicos donde se encuentran conectados los dispositivos que permiten medir corriente y voltaje. Lee el terminal digital donde está conectado el módulo GPS para obtener la posición de la luminaria.
- **Fuente de alimentación:** Provee de energía al nodo coordinador mediante un convertor de corriente alterna a corriente continua.
- **Procesamiento de datos:** Está compuesto por un arduino uno R3 que posee entradas analógicas para poder realizar el acondicionamiento de las señales obtenidas por los sensores para transmitirlos mediante puerto serial a la Raspberry Pi 3 del coordinador.
- **Transmisión ZigBee:** Se encarga de recibir la información de los nodos router y envió de instrucciones hacia los mismos mediante comunicación ZigBee.
- **Comunicación Ethernet:** Este bloque está formado por una Raspberry Pi 3 el cual se comunica por puerto serial con el arduino para recopilar la información obtenida de sí mismo y de los routers. Posee conexión a internet mediante puerto Ethernet a un modem Huawei.
- **Control de actuadores:** está compuesto por relés electromecánicos para el encendido y apagado de la luminaria.

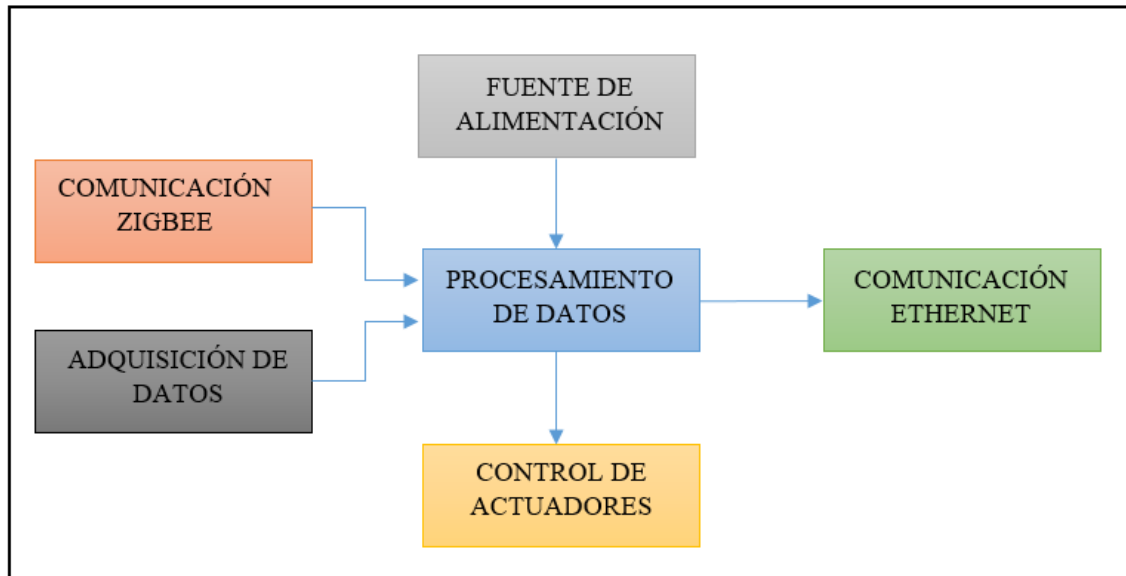


Figura 3-2: Diagrama de bloques del nodo coordinador
 Realizado por: Martínez, Fernando; Ruiz, Franklin; 2019

2.2 Selección de dispositivos para el prototipo de red

Se detalla las características en forma general de los dispositivos para el prototipo de red en el capítulo uno, y en este apartado se da a conocer las principales características de los dispositivos seleccionados, “Ver Anexos A-H”

2.2.1 Lámpara LED-ex

Luminaria de diodo emisor de luz por sus siglas en inglés (LED) que se observa en la figura 4-2, fue diseñada por la empresa Marriott S.A., cuenta con protección IP 67.



Figura 4-2: Lámpara LED-ex
 Realizado por: Martínez, Fernando; Ruiz, Franklin; 2019

En la tabla 1-2 se detalla las principales características de la luminaria LED-ex (Catálogo LEDEX, 2018).

Tabla 1-2: Principales características Luminaria LED-ex.

Modelo	HYDD-LED10C180W
Año de Fabricación	2017
Serie	B4867
Potencia/Voltaje/Frecuencia	180W/105-240V/50-60Hz
Voltaje de salida DC	114-343 VDC
Corriente de salida DC	1050 mA max
Potencia	240 Wmax

Realizado por: Fernando Martínez, Franklin Ruiz, 2019.

2.2.2 Dispositivos de comunicación y procesamiento

Tarjetas de desarrollo comerciales de gran disponibilidad muy útiles para aplicaciones electrónicas para el prototipo de red, se utiliza como procesadores generales la tarjeta Raspberry Pi 3 y la tarjeta Arduino Uno R3 (Faludi, 2010).

2.2.2.1 Raspberry Pi 3

En la figura 5-2 se puede apreciar esta tarjeta de desarrollo que constituye una pequeña computadora fabricada en Reino Unido por la Fundación Raspberry Pi. Entre las características requeridas están: base de datos, servidor web y almacenamiento no volátil. Toda la información sobre el estado de las luminarias se almacenará aquí. Además las especificaciones de Raspberry no son tan diferentes de las de una computadora; por lo que, es suficiente para ser utilizado como servidor, mismo que será utilizado para administrar todos los dispositivos inteligentes en la red (Edward, Karyono y Meidia, 2017), (Morrison, 2017).



Figura 5-2: Raspberry Pi 3
Realizado por: Martínez, Fernando; Ruiz, Franklin; 2019

En la tabla 2-2, se puede observar las principales características del dispositivo Raspberry Pi 3 para desarrollar el enlace del coordinador con la empresa eléctrica establecido dentro del área urbana (Edward, Karyono y Meidia, 2017), (Morrison, 2017), (Raspberry-Pi-Model-Bplus-Product-Brief, 2015).

Tabla 2-2: Principales características de la tarjeta Raspberry Pi 3

Alimentación	5V
Corriente requerida	600 mA
Procesador	1.2 GHZ de 64 bits
Núcleos	4 ARMv8
Memoria	1GB
Wireless	802.11n Wireless LAN
Puertos	4 USB, HDMI, Ethernet

Realizado por: Fernando Martínez, Franklin Ruiz, 2019.

2.2.2.2 Tarjeta de desarrollo Arduino Uno R3

El Arduino como se puede observar en la figura 6-2 es una plataforma computacional física de código abierto basada en una simple tarjeta de I/O y un entorno de desarrollo implementa el lenguaje de escritura y procesamiento. Puede ser utilizado para desarrollar objetos interactivos. Utiliza el microcontrolador ATmega328. Hay dos nuevos terminales cerca del RESET. Uno es el IOREF, permite a los shields adaptarse al voltaje brindado por la tarjeta (Barrett, 2012).

Esta tarjeta de desarrollo va a ser usada por cada uno de los routers y el coordinador para procesar la información obtenida de las luminarias y efectuar las órdenes de control provenientes de Cayenne.



Figura 6-2: Arduino Uno R3

Realizado por: Martínez, Fernando; Ruiz, Franklin; 2019

En la tabla 3-2 se puede observar las principales características de la tarjeta de desarrollo Arduino Uno R3 (Arduino, 2015).

Tabla 3-2: Principales características Arduino Uno R3

Microcontrolador	ATmega 328 P
Alimentación	5V
Corriente requerida	46 mA
Voltaje de entrada recomendado	7-12V
Voltaje de entrada, limite	6-20V
Entradas o salidas Digitales / PWN	14/6
Entradas o salidas analógicas	6
Corriente DC por terminal I/O	20mA
BAUDRATE	9600
Módulo de expansión	Shield Xbee

Realizado por: Fernando Martínez, Franklin Ruiz2019.

2.2.3 *Modem Huawei*

Para establecer una comunicación mediante internet se usa una Tarjeta Raspberry Pi 3 conectada mediante el puerto Ethernet a un modem CNT al cual se le suministró datos mediante un modem

USB Huawei como se aprecia en la figura 7-2, se crea una comunicación bidireccional entre el coordinador y la EEASA, para enviar información y recibir órdenes de control del prototipo de red



Figura 7-2: Conexión Internet mediante Ethernet
Realizado por: Martínez, Fernando; Ruiz, Franklin; 2019

En la tabla 4-2, se detalla las principales características del modem Huawei (Configuración de los Modem - Router Huawei HG531s V1 CNT ECUADOR, 2015).

Tabla 4-2: Principales características del modem Huawei

Nombre	Huawei 300Mbps Wireless ADL2+
Alimentación	12 V
Corriente requerida	1 A
Velocidad de transmisión	300 Mbps
Puertos Ethernet	4
Puertos USB	1

Realizado por: Fernando Martínez, Franklin Ruiz2019.

2.2.4 Dispositivo para la comunicación inalámbrica mediante Zigbee

Para establecer la comunicación inalámbrica Zigbee entre Routers y Coordinador se utiliza *Shield* de Xbee para arduino Uno y módulos Xbee S2 pro. Se crea una comunicación bidireccional para enviar parámetros eléctricos y recibir órdenes de reconexión y corte de suministro de energía eléctrica. En la figura 12-2 se muestra la configuración del router con el coordinador

2.2.4.1 XBee Pro S2

Para la transmisión de los datos por medio de la red de sensores inalámbricos se seleccionó la tecnología Zigbee, mediante el módulo de radio XBee-PRO ZB (S2), que se observa en la figura 8-2. Con línea de vista puede alcanzar una comunicación de 1,2 Km. Este aspecto es importante dado que se consideran las distancias existentes entre cada router con el coordinador (Kurniawan 2017), (Martinsanz 2018). Para elegir los parámetros en los que se va a trabajar y nombrar el atributo de cada dispositivo se realiza mediante configuración de comandos ZigBee AT.



Figura 8-2: XBee Pro S2

Realizado por: Martínez, Fernando; Ruiz, Franklin; 2019

La tabla 5-2 detalla las principales características de la tarjeta XBee-PRO ZB (S2) que se está empleando para desarrollar las comunicaciones a través de radiofrecuencia establecidas dentro del área urbana (Kurniawan 2017), (Martinsanz 2018), (XBee-Pro-S2, 2014).

Tabla 5-2: Principales características de la tarjeta XBee PRO ZB (S2).

Alimentación	3,3 V
Corriente requerida	45 mA
Outdorr/RF rango línea de vista	Hasta 1,2 Km
Potencia Tx	Hasta 17 dBm
Sensibilidad de recepción	-102 dBm
Rf velocidad de datos	250 Kbps
Frecuencia de operación	2,4 GHz

Realizado por: Fernando Martínez, Franklin Ruiz, 2019.

Para la conexión de las tarjetas Xbee con Arduino se realizó mediante el módulo de expansión *Xbee Shield* que se observa en la figura 9-2.



Figura 9-2: Xbee Shield
Realizado por: Martínez, Fernando; Ruiz, Franklin; 2019

En la tabla 6-2 se puede apreciar las características de la *Xbee Shield*

Tabla 6-2: Características Xbee Shield (Xbee Shield, 2014)

Salida de energía Dual	3,3V – 5V
Entradas / Salidas	3,3V – 5V
Protocolo USB	2.0
<i>Software</i>	X-CTU
<ul style="list-style-type: none"> • Se usa como transmisor de información o como Bluetooth Bee. • Cuenta con botón de reset. 	

Realizado por: Fernando Martínez, Franklin Ruiz, 2019.

2.2.5 *Dispositivos de adquisición de corriente y geolocalización*

En la adquisición y procesamiento de los parámetros eléctricos, el prototipo incluye un sensor externo de corriente y un arreglo de resistencia en serie.

2.2.5.1 *Sensor de Corriente ACS712-5A*

Sensor lineal de efecto Hall de la figura 10-2 para medición de cantidad de corriente que fluye a través de un circuito de corriente alterna (CA) o de corriente continua (CD).

El método es a través de un sensor de efecto Hall que produce un voltaje de salida proporcional a la corriente que fluye en el circuito. La trayectoria para medir la corriente está dentro del circuito integrado y está aislada del circuito de procesamiento.



Figura 10-2: Sensor de corriente ACS712
Realizado por: Martínez, Fernando; Ruiz, Franklin; 2019

La tabla 7-2 resume las principales características del sensor de corriente (Current Sensor, 2014).

Tabla 7-2: Principales características del sensor de corriente.

Alimentación	4,5 – 5,5 Vdc
Corriente requerida	66 mA
Rango de medición	0-5 A en DC
Voltaje de salida	66m V/A
Voltaje de salida sin corriente	Vcc/2
Resistencia Interna	1,2 mOHM
Protecciones	Aislamiento 2,1 Kv rms
Salida	Analógica 185mV/A
Tiempo de respuesta	5 μ s
Error	1,5%

Realizado por: Fernando Martínez y Franklin Ruiz, 2019.

2.2.5.2 Módulo GPS NEO-6M

Módulo basado en la marca Ublox modelo NEO-6M. Es un GPS para Arduino cuyo voltaje de alimentación es de 3 a 5V, y el voltaje de las señales que envía y recibe son de 3,3 V. en la figura 11-2 se observa el módulo GPS NEO 6M usado dentro del prototipo de red para adquirir la posición de cada luminaria.



Figura 11-2: GPS NEO-6M
Realizado por: Martínez, Fernando; Ruiz, Franklin; 2019

En la tabla 8-2 se resume las principales características del GPS NEO 6M que sustentan su uso dentro del prototipo de red (GPS-NEO-6, 2017).

Tabla 8-2: Principales características del GPS NEO-6M.

Alimentación	3 – 5 Vdc
Corriente requerida	45 mA
Comunicación	Serial
BAUDRATE	9600
Sistema de coordenada	WGS-84
Exactitud	1us
Antena de Cerámica	1

Realizado por: Fernando Martínez y Franklin Ruiz, 2019.

2.2.6 *Dispositivos de control y protección*

En el suministro de energía mediante el procesador Arduino cuya señal es amplificada mediante el uso de relés que controlan el encendido y apagado de las luminarias.

2.2.6.1 *SONGLE-5V*

El dispositivo de la figura 12-2 permite controlar señales provenientes de los terminales de salidas digitales del Arduino para poder usar relés que manejan cargas que consuman corrientes grandes. El relé permite controlar tensiones de hasta 10 A y 250 V.



Figura 12-2: Relé 5V

Realizado por: Martínez, Fernando; Ruiz, Franklin; 2019

La Tabla 9-2 resume las principales características del relé 5V (Songle-Relay, 2015).

Tabla 9-2: Principales características del Relé 5V.

Corriente requerida	20mA
Señal de activación	5V
Tolerancia	250Vac – 30 Vdc 10A
Voltaje	Corriente
250V (AC)	10A
125V (AC)	10A
30V(DC)	10A
28V(DC)	10A

Realizado por: Fernando Martínez, Franklin Ruiz, 2019.

2.2.7 Sistema de alimentación

Por la naturaleza de la instalación no se requiere baterías externas, los módulos van a ser alimentados mediante conversores de voltaje a la red propia de las luminarias 220 VAC.

2.2.8 Elementos extras

En la figura 13-2, se puede apreciar un transistor de conmutación rápida, baja tensión de saturación, adecuado para conmutación y amplificación.

El transistor es un dispositivo electrónico semiconductor utilizado para proporcionar una señal de salida en respuesta a una señal de entrada. Dentro del prototipo ayuda a amplificar la señal proveniente del arduino y a la vez cumple la función de protección de cortocircuito y sobre corrientes al procesador.

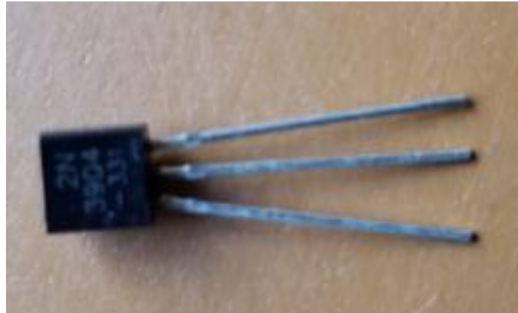


Figura 13-2: Transistor 2N3904
Realizado por: Martínez, Fernando; Ruiz, Franklin; 2019

La tabla 10-2 resume las principales características del transistor 2n3904 (Npn-Transistor, 2015).

Tabla 10-2: Principales características Transistor 2N3904

Polaridad del transistor	NPN
Voltaje colector-emisor en corte (Vceo)	40 V
Frecuencia de transmisión (ft)	300 MHz
Disipación de potencia (Pd)	625mW
Corriente del colector DC	200mA
Ganancia de corriente continua hFE	100
Temperatura	-55°C – 150°C
Encapsulado	TO-92
Cantidad de pines	3
Sustituto	NTE123AP

Realizado por: Fernando Martínez, Franklin Ruiz, 2019.

2.3 Esquema de conexión electrónica

Con respecto a este punto se detalla la conexión electrónica de todos los elementos que conforman los nodos del sistema.

2.3.1 Sensor de voltaje

Al no existir sensores de voltaje que soporten mediciones superiores a 30 VDC, se construyó un divisor de voltaje el cual va a actuar como sensor. En la figura 14-2 se puede apreciar el circuito para el divisor de voltaje diseñado en Multisim.

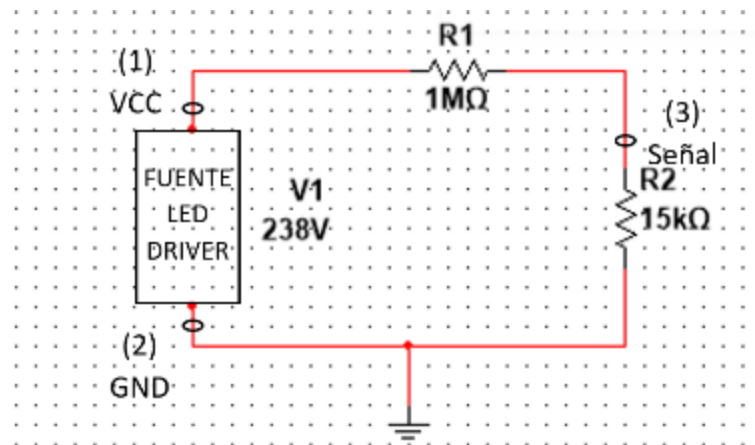


Figura 14-2: Divisor de voltaje en Multisim
Realizado por: Martínez, Fernando; Ruiz, Franklin; 2019

2.1.1 Esquema de conexión eléctrica para el router

En la figura 15-2 se observa la conexión electrónica del router entre la Tarjeta Arduino Uno R3, Xbee Pro S2C, sensor de corriente, divisor de voltaje, módulo GPS y relés.

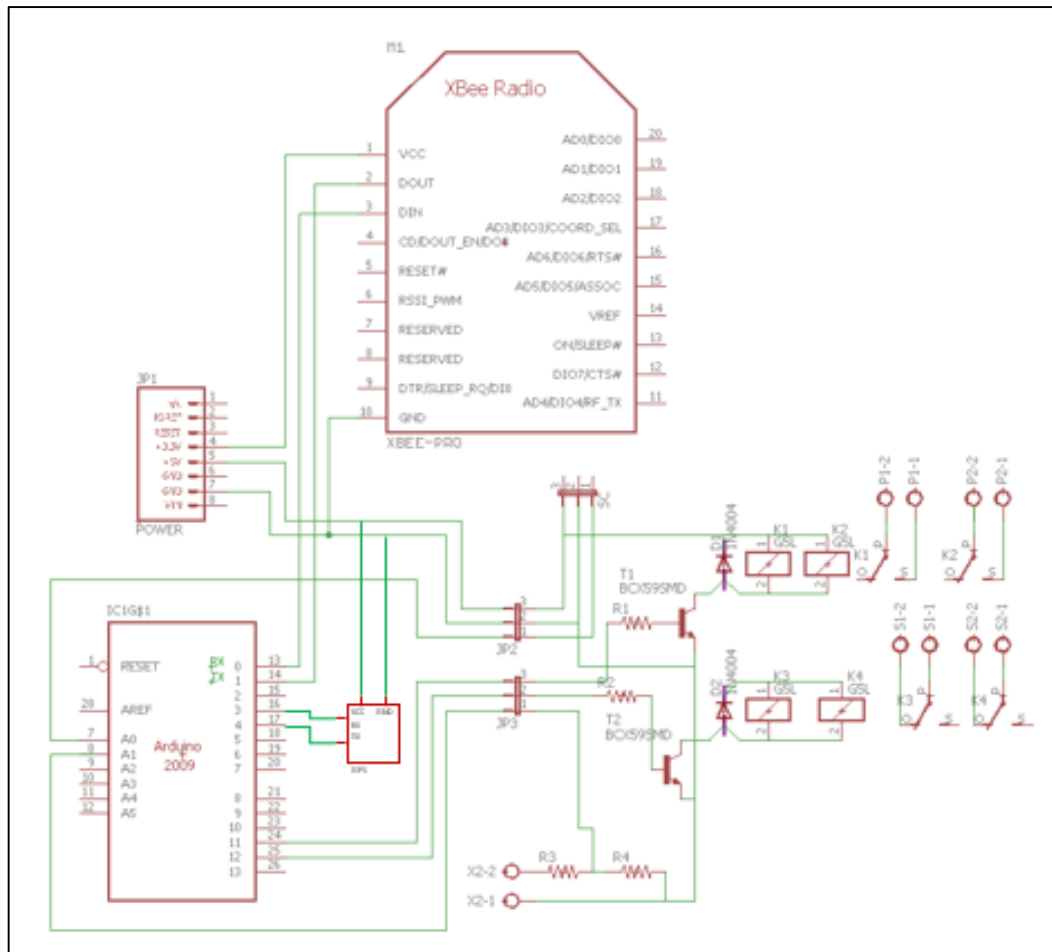


Figura 15-2: Conexión electrónica del Router
 Realizado por: Martínez, Fernando; Ruiz, Franklin; 2019

En la tabla 11-2 se detalla la conexión de los terminales entre las diferentes tarjetas para su comunicación.

Tabla 11-2: Terminales de conexión Router

Terminales de Arduino	Terminales de Xbee Pro S2C	Sensor de corriente	GPS NEO 6M	Divisor de Voltaje
3,3V	1 (VCC)			
5V		VCC	VCC	
0 (RX)	3 (DIM)			
1 (TX)	2 (DOUT)			
GND	10 (GND)	GND	GND	GND
A0 (Entrada analógica)		OUT		
A1 (Entrada analógica)				OUT

3 (Terminal digital)			RX	
4 (Terminal digital)			TX	

Realizado por: Fernando Martínez, Franklin Ruiz, 2019

2.1.2 Esquema de conexión eléctrica para el coordinador

En la figura 16-2 se muestra la conexión electrónica del coordinador entre la Tarjeta Raspberry, Tarjeta Arduino Uno R3, Xbee Pro S2C, sensor de corriente, divisor de voltaje, módulo GPS y relés.

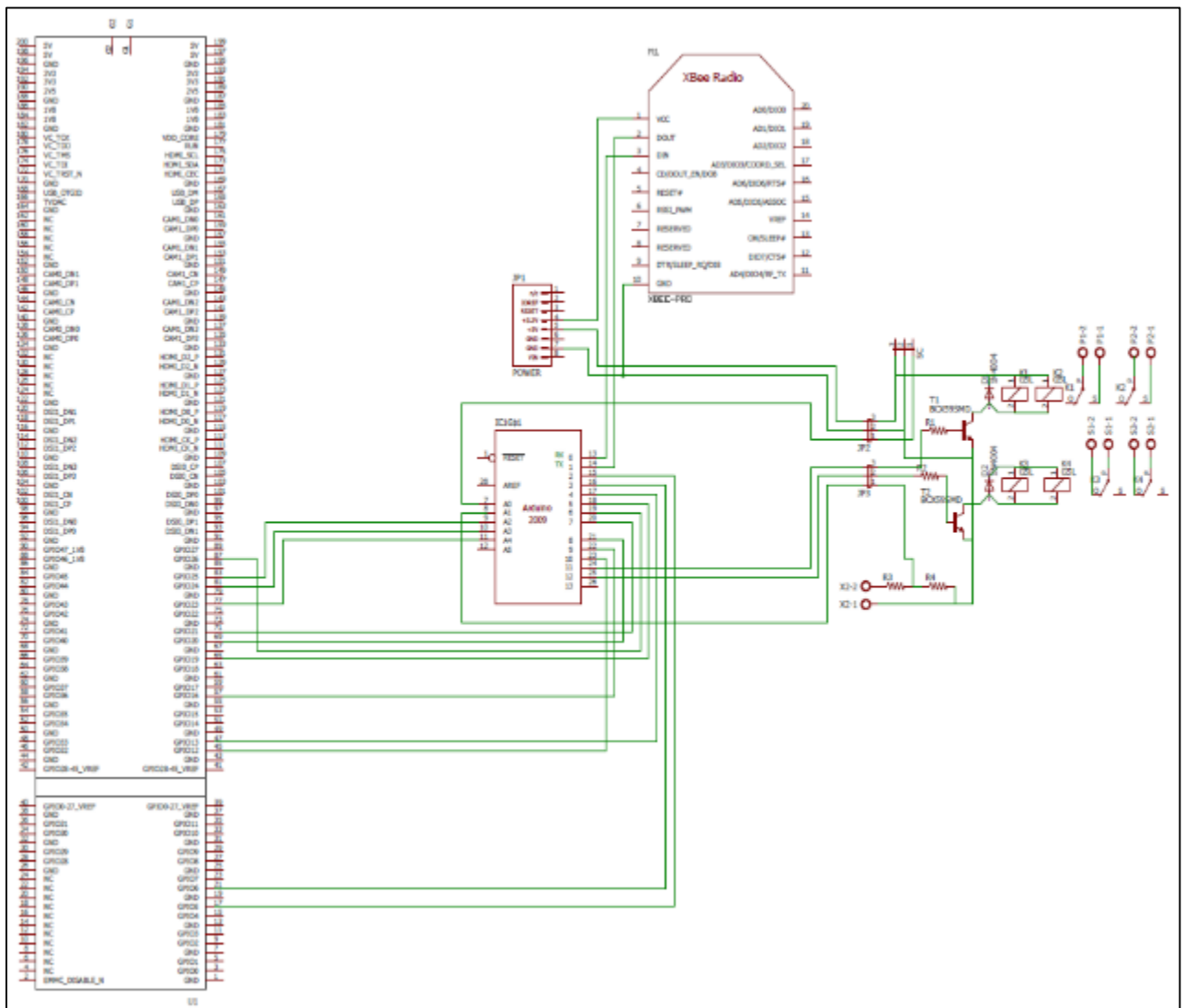


Figura 16-2: Conexión electrónica del Coordinador

Realizado por: Martínez, Fernando; Ruiz, Franklin; 2019

En la tabla 12-2 se detalla la conexión de los terminales entre las diferentes tarjetas para su comunicación y el modulo GPS. La conexión para los sensores de corriente y voltaje son las mismas detalladas en la tabla 11-2.

Tabla 12-2: Terminales de conexión Coordinador

Raspberry Pi 3	Terminales de Arduino	Terminales de Xbee Pro S2C	GPS
	3,3V	1 (VCC)	
	0 (RX)	3 (DIM)	
	1 (TX)	2 (DOUT)	
	GND	10 (GND)	GND
	5 V		VCC
08 (GPIO)			RX
10 (GPIO)			TX
	11 (Salida digital)		Relé Paralelo (NO)
	12 (Salida digital)		Relés Serie (NC)
87 (GPIO 26)	6		
83 (GPIO 25)	A2		
81 (GPIO 24)	A3		
77 (GPIO 23)	A4		
71 (GPIO 21)	7		
69 (GPIO 20)	8		
65 (GPIO 19)	5		
57 (GPIO 16)	9		
47 (GPIO 13)	4		
45 (GPIO 12)	10		
21 (GPIO 6)	3		
17 (GPIO 5)	2		

Realizado por: Fernando Martínez, Franklin Ruiz, 2019

2.4 Esquema de conexión eléctrica de la placa impresa a la luminaria

En la figura 17-2 se realiza la conexión eléctrica en CADe_SIMU entre los terminales de la luminaria y la placa impresa.

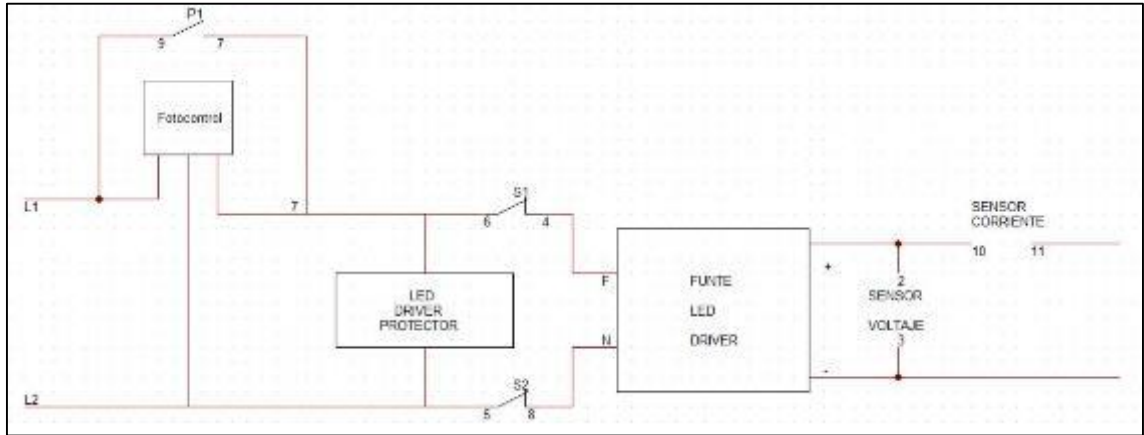


Figura 17-2: Esquema de Conexión Eléctrica en CADe_SIMU

Realizado por: Martínez, Fernando; Ruiz, Franklin; 2019

En la tabla 13-2 se detalla la conexión entre los terminales de la placa impresa con la luminaria LED-ex.

Tabla 13-2: Conexión de terminales entre placa impresa y lámpara LED-ex

Placa impresa	Lámpara LED-ex
00	Fase
01	Neutro
02	Señal (Sensor de Voltaje)
03	GND (Sensor de Voltaje)
04	Contacto NC (Relé serie 1) con Fase del Led Driver
05	Contacto NC (Relé serie 2) con Neutro
06	Contacto NC (Relé serie 1) con la fase controlada por fotocontrol
07	Contacto NO (Relé paralelo) con la fase controlada por fotocontrol
08	Contacto NC (Relé serie 2) con Neutro del Led Driver

09	Contacto NO (Relé paralelo) con Fase del fotocontrol
10	IP+ (Sensor de corriente)
11	IP- (Sensor de corriente)

Realizado por: Fernando Martínez, Franklin Ruiz, 2019

En la figura 18-2 se observa el resultado de las conexiones en la placa impresa



Figura 18-2: Circuito impreso.

Realizado por: Martínez, Fernando; Ruiz, Franklin; 2019

2.5 Herramientas *software* para el prototipo de red

Las herramientas utilizadas en el prototipo de red son cinco: X-CTU para Xbee, IDE 2.8 para Arduino, Python 3.0 para Raspberry Pi 3, el *Software* de visualización es desarrollado en la plataforma de uso libre Cayenne y el *software* TeamViewer 14 para la visualización del mapeo de las luminarias. En los Anexos [I-M] se detalla la programación y configuración de cada herramienta usada.

2.5.1 X-CTU 5.2 para Xbee

Para la programación de las Xbee se trabajó con el programa X-CTU versión 5.2, dentro del cual se puede definir qué tipo de trabajo van a realizar las Xbee, y la configuración bajo la cual van a trabajar, coordinador o router (Guía X-CTU, 2014).

2.5.2 IDE 2.8 para Arduino

Se trabajó con el IDE de arduino 2.8 el cual permite realizar el código de procesamiento de información y la ejecución de instrucciones integrando librerías de uso libre para su programación (Guía IDE, 2016).

2.5.3 Python 3.0 para Raspberry

Se trabajó con Python 3.0 para la programación de la Raspberry en el coordinador, el cual soporta una programación orientada a objetos y es multiplataforma (Guía Python 3, 2017).

2.5.4 Cayenne

Se trabajó con la plataforma Cayenne, la cual permite la monitorización de sensores e integra triggers, se trata de un sistema que permite la notificación si no se cumplieron los parámetros de trabajo que se estén realizando mediante mensajes de alerta (Guía Cayenne, 2017).

2.6 Software desarrollado para el prototipo de red

A continuación, se detallan los requerimientos y los dos *softwares* desarrollados en el prototipo de red para cumplir con los requerimientos establecidos.

2.6.1 Requerimientos del software del prototipo de red.

El prototipo debe cumplir con los siguientes requerimientos:

- Adquirir datos de corriente y voltaje.
- Empaquetar la información obtenida por los routers y enviarla al coordinador.
- Crear la comunicación entre el coordinador y la página web.
- Realizar un análisis de corriente para determinar el funcionamiento de las luminarias y determinar cuándo una luminaria se encuentre en estado intermitente. Crear la alerta de fallas en luminarias del alumbrado público, detallar la ubicación de las mismas

2.6.2 Software desarrollado para el router

En la figura 19-2 se puede apreciar el diagrama de flujo de *software* usado tanto en el coordinador como en los routers para la lectura de parámetros eléctricos desarrollado en el IDE de arduino, el cual está formado por cuatro pasos siguientes.

- Se declara librerías, variables y se inicializan.
- Se inicializa el puerto serial y se configura la tasa de transmisión de datos a 9600 baudios, velocidad de trabajo normal del arduino.
- Se inicializa el bloque de repetición indefinida adquiriendo datos del módulo por el puerto serial cada minuto.
- Se verifica que los datos sean valores positivos, si cumple con este indicativo se almacenas los datos en las variables para su posterior procesamiento.

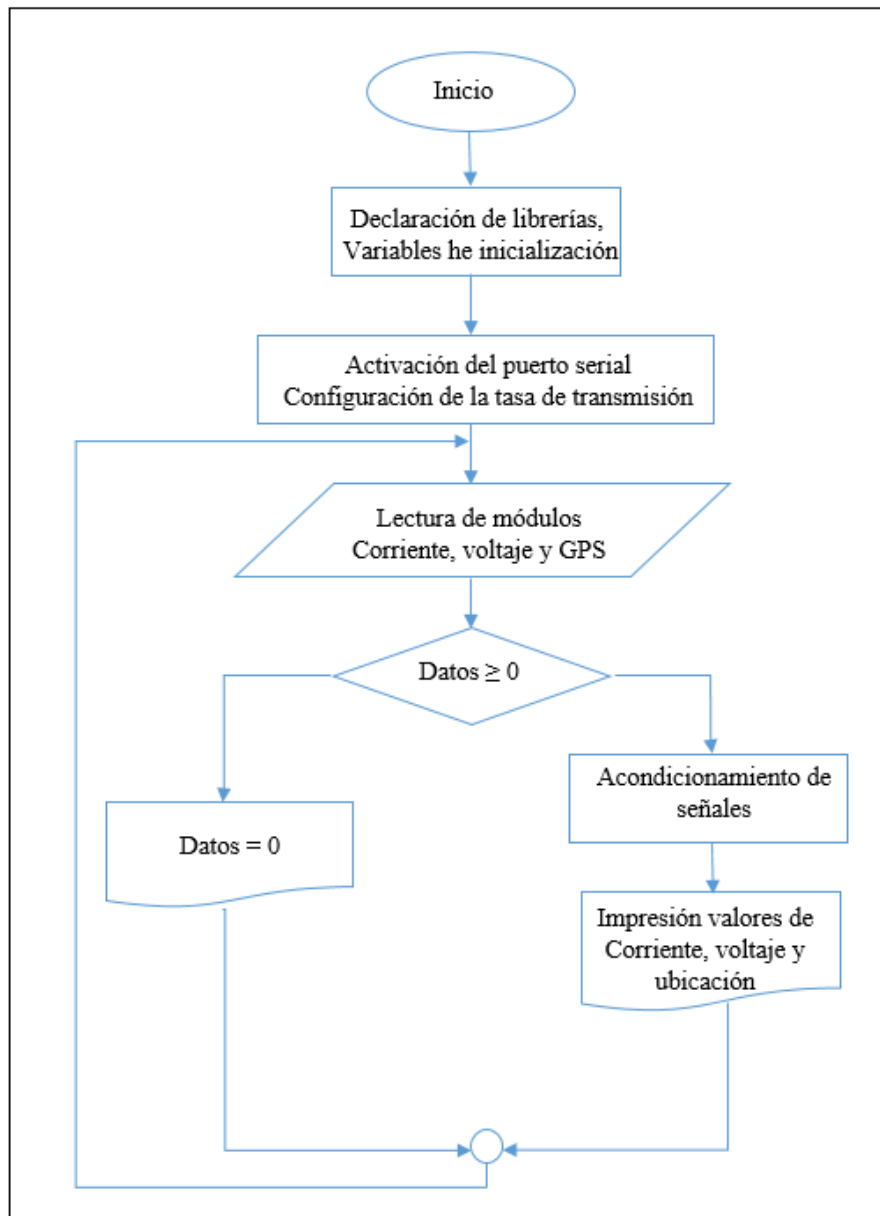


Figura 19-2: Diagrama de flujo para el router
 Realizado por: Martínez, Fernando; Ruiz, Franklin; 2019.

Para programar el módulo GPS NEO 6M en arduino se usó la librería “**#include <SoftwareSerial.h>**”.

2.6.3 Software desarrollado para el coordinador

Dentro del coordinador existen dos tarjetas de procesamiento: Arduino Uno R3, el software desarrollado es el mismo descrito en el apartado anterior para el router.

En la tarjeta Raspberry Pi 3 se desarrolló un código para transmitir la información de todos los nodos hacia la página web creada en Cayenne. En la figura 20-2 se representa el diagrama de flujo descrito en los siguientes literales.

1. Declaración de librerías.
2. Se inicializa el puerto serial y se configura la tasa de transmisión de datos a 9600 baudios
3. Se define que terminales se quieren controlar como salidas para la ejecución de las órdenes de encendido y apagado.
4. Definición de las credenciales para la conexión con el servidor Cayenne.
5. Adquisición de valores analógicos de corriente y voltaje de todos los routers.
6. Los valores escalados son enviados a la interfaz de Cayenne definiendo un canal de visualización
7. Para ejecutar una instrucción desde Cayenne a los routers, en el arduino coordinador se define una variable tipo *string message* el cual procesa el comando *Split* para extraer del canal de estado la información de los elementos agregados a la interfaz Cayenne.
8. Por último, se usa estructuras de comparación para identificar el valor enviado desde cada canal con lo cual se envía a conmutar las salidas físicas de la Raspberry.

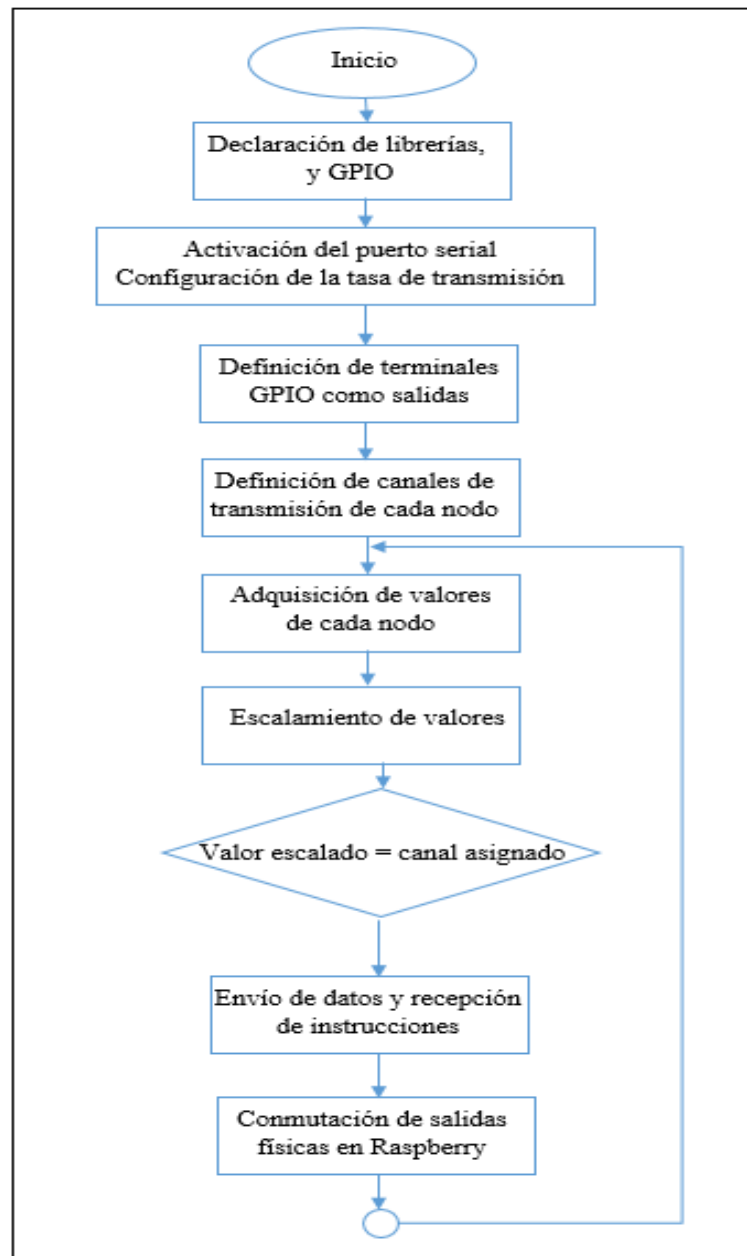


Figura 20-2: Diagrama de flujo para el coordinador
 Realizado por: Martínez, Fernando; Ruiz, Franklin; 2019.

Las librerías utilizadas dentro del programa son:

- Ejecución de programas externos **“import os”**
- Para realizar la conexión con Cayenne **“import cayenne.client”**
- Para usar retardos en el programa **“import time”**
- Habilitar los puertos seriales usados en la conmutación **“import serial”**
- Modificar el estado de entradas y salidas físicas de Raspberry **“import RPi.GPIO as GPIO”**

2.7 Estructura del prototipo de red

Para colocar los dispositivos en los postes se debe considerar las condiciones de instalación de las luminarias que son: instalaciones a la intemperie, exposición a lluvias, contaminación atmosférica, polvos e insectos. Por lo cual se utilizó dos tableros metálicos: para el router tablero metálico Sbox con dimensiones 20cm-20cm-10cm y para coordinador tablero metálico Beaucoup con dimensiones 30cm-20cm-20cm. Los dos tableros son totalmente herméticos, en la figura 21-2 se observa el tablero metálico usado para el coordinador.



Figura 21-2: Tablero metálico para el coordinador.
Realizado por: Martínez, Fernando; Ruiz, Franklin, 2019

CAPÍTULO III

DISCUSIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

En este capítulo se detallan once pruebas divididas en caracterización de sensores, comunicación, generación de mensaje de alerta, pruebas de implantación, capacidad de nodos en la red, consumo de energía y análisis económico del prototipo de red

3.1 Mediciones de parámetros eléctricos

El prototipo tiene como función controlar y supervisar fallas en las luminarias, para ello es necesario obtener valores de voltaje y corriente para realizar los cálculos. Para validar y certificar su funcionamiento, el dispositivo fue sometido a pruebas de corriente y voltaje utilizando como equipo patrón el multímetro digital “Pro’sKit MT-1232”, el cual presenta un error de $\pm 0.1A$ para corriente y un error de 10mV en voltaje (Pro’sKit, 2016).

3.1.1 Prueba de medición de Corriente DC

El objetivo de esta prueba es determinar si el prototipo implementado no incorpora error al sensor, esta prueba consistió en determinar que las muestras obtenidas no sobrepasen el error del equipo patrón que es de $\pm 0.1A$ en la escala de 400mA a 1 A. Las pruebas se realizaron con la lámpara en funcionamiento a 220 Vac suministrado por la EEASA para el alumbrado público, para lo cual se tomaron 15 muestras de corriente durante 3 días, en la etapa DC después del *LED DRIVER* sometiendo a la luminaria a cargas variables de 413mA hasta 709mA. En la figura 1-3 se aprecia las pruebas realizadas y en la tabla 1-3 se puede ver los valores obtenidos al generar las mediciones de corriente.



Figura 1-3: Mediciones de corriente en DC
Realizado por: Martínez, Fernando; Ruiz, Franklin; 2019

Tabla 1-3: Mediciones de corriente DC

N°	MT-1232 (mA)	Sensor del Prototipo (mA)	Error Absoluto (mA)
1	413	413	0
2	468	469	-1
3	488	488	0
4	508.2	508.2	0
5	530	529	1
6	548	548	0
7	569	570	-1
8	588.4	588.4	0
9	608	608	0
10	628.2	628.2	0
11	649	650	-1
12	668	668	0
13	688.3	688.3	0
14	709	708	1
15	709	709	0

Realizado por: Fernando Martínez y Franklin Ruiz, 2019

De la tabla 1-3 se observa que las muestras obtenidas no sobrepasan el error del equipo patrón que es de $\pm 0.1A$ por lo que se concluye que el prototipo implementado no incorpora error al sensor en mediciones de corriente

3.1.2 Prueba de medición de voltaje DC

El objetivo de esta prueba es determinar que el prototipo mantiene el error del sensor de voltaje para esto se realizaron 15 muestras durante 3 días en voltaje DC con variaciones descendentes entre 238 hasta 0 tomando en cuenta que el equipo patrón muestra un error de $\pm 10mV$ en la escala de 0 a 400Vdc. En la figura 2-3 se evidencia las pruebas realizadas y en la tabla 2-3 se aprecia los valores obtenidos al generar las mediciones de voltaje.



Figura 2-3: Mediciones de Voltaje en DC
 Realizado por: Martínez, Fernando; Ruiz, Franklin; 2019

Tabla 2-3: Mediciones de voltaje DC

N°	Pro'sKit MT- 1232 (V)	Sensor del Prototipo (V)	Error Absoluto (V)
1	238	238	0
2	234	234,01	-0,01
3	214,12	214,11	-0,01
4	194,71	194,7	0,01
5	174,64	174,65	-0,01
6	154,11	154,1	0,01
7	134,31	134,3	0,01
8	114	114	0
9	94	94	0
10	74,21	74,22	-0,01
11	54	54	0
12	34,31	34,32	-0,01
13	14	14	0
14	7	7	0
15	0	0,01	0,01

Realizado por: Fernando Martínez, Franklin Ruiz, 2019

Al realizar el análisis de la tabla 2-3 se pudo apreciar que las muestras obtenidas no sobrepasan el error de $\pm 10\text{mV}$ que maneja el equipo patrón por lo que se concluye que el prototipo mantiene el error del sensor.

3.1.3 Prueba de Posicionamiento

El objetivo de esta prueba es determinar si el prototipo implementado no incorpora error al módulo GPS, esta prueba consistió en determinar que las muestras obtenidas no sobrepasen el margen de error de la aplicación Google Maps que es de 2m (GPS para móviles y su margen de error, 2015). Para realizar estas pruebas se tomaron 6 muestras de una luminaria en diferentes posiciones. En la figura 3-3 se aprecia el margen de error de la prueba de posicionamiento del prototipo y en la tabla 3-3 se aprecia las coordenadas obtenidos al generar las mediciones GPS

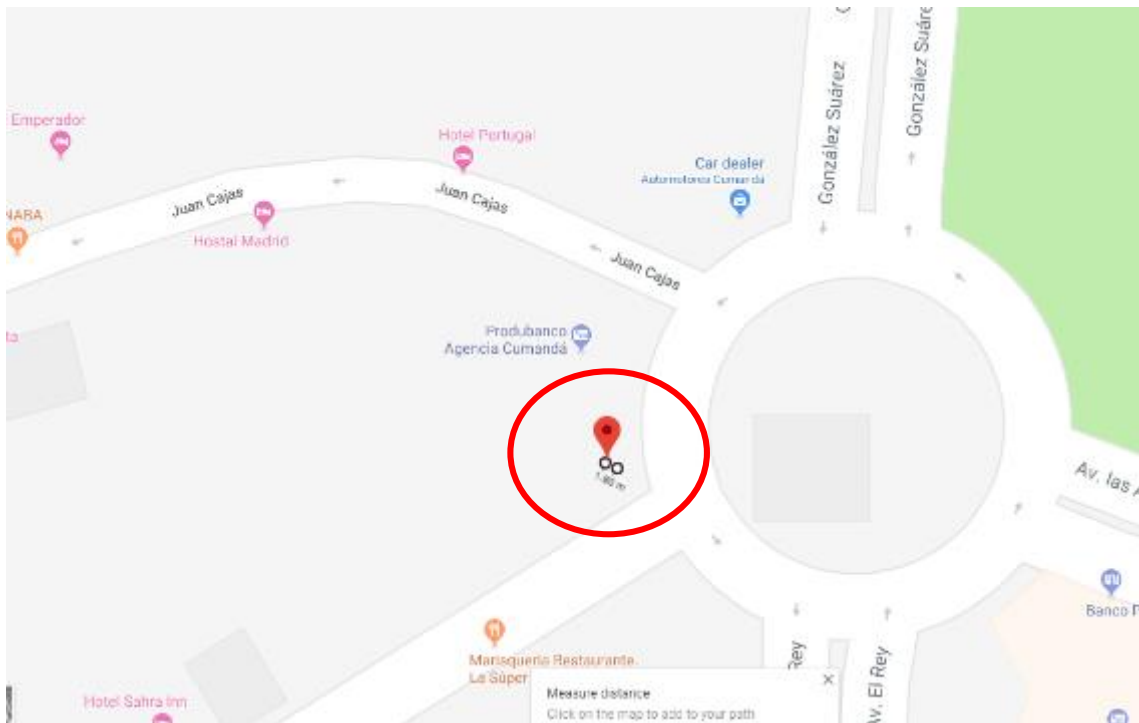


Figura 3-3: Margen de error de la prueba de posicionamiento del prototipo
Realizado por: Martínez, Fernando; Ruiz, Franklin; 2019

Tabla 3-3: Coordenadas obtenidos al generar las mediciones GPS

Google Maps	Sensor del Prototipo	Margen de error (m)
-1.236063,-78.6191378	-1.236063,-78.6191379	1.5
-1.2357933,-78.6189025	-1.2357934,-78.6189026	1.35
-1.2357938,-78.6189029	-1.2357939,-78.6189032	1.02
-1.2357980,-78.6189042	-1.2357095,-78.6189075	1.45

-1.236134, -78.619036	-1.236134, -78.619036	1.60
-1.2360706, -78.6186207	-1.2360706, -78.6186230	1.27

Realizado por: Fernando Martínez, Franklin Ruiz, 2019

Al analizar la tabla 3-3 se verificó que el prototipo de red tiene la capacidad de identificar la ubicación de luminarias con una precisión no mayor a dos metros, concluyendo que el prototipo implementado no incorpora error al módulo GPS

3.1.4 Prueba de estabilidad del prototipo

El objetivo de esta prueba es determinar el coeficiente de variación para verificar que el prototipo sea estable y no se considere de alta varianza, este coeficiente según INE no debe sobrepasar el 1.293% para nuevos proyectos (Wackerly, Mendenhall y Scheaffer 2014, p. 10), (INE, 2019). Para lo cual se tomó 15 valores de voltaje y corriente obtenidos en el *software* Cayenne, estos valores fueron sometido a una carga estable de 208 W durante cinco minutos en intervalos de tres segundos. Con la utilización de Excel 2016, se realizaron los cálculos para encontrar la media, la desviación estándar y el coeficiente de variación de los valores obtenidos. en la figura 4-3 se observa los valores obtenidos de voltaje y en la tabla 4-3 se aprecia las muestras de voltaje, corriente, potencia y el cálculo del coeficiente de variación.

Marca de tiempo	Nombre del dispositivo	Canal	Nombre del sensor	ID del sensor	Tipo de datos	Unidad	Valores
2019-02-21 3:44:38	EEASA_Control_de...	9	Voltaje_Luminaria_1	3fc32f70-e1fa-11e8-809d-078fa4c30267	voltaje	v	241
2019-02-21 3:44:29	EEASA_Control_de...	9	Voltaje_Luminaria_1	3fc32f70-e1fa-11e8-809d-078fa4c30267	voltaje	v	241
2019-02-21 3:44:23	EEASA_Control_de...	9	Voltaje_Luminaria_1	3fc32f70-e1fa-11e8-809d-078fa4c30267	voltaje	v	241
2019-02-21 3:44:12	EEASA_Control_de...	9	Voltaje_Luminaria_1	3fc32f70-e1fa-11e8-809d-078fa4c30267	voltaje	v	241
2019-02-21 3:43:28	EEASA_Control_de...	9	Voltaje_Luminaria_1	3fc32f70-e1fa-11e8-809d-078fa4c30267	voltaje	v	241
2019-02-21 3:43:17	EEASA_Control_de...	9	Voltaje_Luminaria_1	3fc32f70-e1fa-11e8-809d-078fa4c30267	voltaje	v	241
2019-02-21 3:43:11	EEASA_Control_de...	9	Voltaje_Luminaria_1	3fc32f70-e1fa-11e8-809d-078fa4c30267	voltaje	v	241
2019-02-21 3:43:09	EEASA_Control_de...	9	Voltaje_Luminaria_1	3fc32f70-e1fa-11e8-809d-078fa4c30267	voltaje	v	238
2019-02-21 3:42:44	EEASA_Control_de...	9	Voltaje_Luminaria_1	3fc32f70-e1fa-11e8-809d-078fa4c30267	voltaje	v	241
2019-02-21 3:42:37	EEASA_Control_de...	9	Voltaje_Luminaria_1	3fc32f70-e1fa-11e8-809d-078fa4c30267	voltaje	v	241
2019-02-21 3:42:28	EEASA_Control_de...	9	Voltaje_Luminaria_1	3fc32f70-e1fa-11e8-809d-078fa4c30267	voltaje	v	241
2019-02-21 3:42:15	EEASA_Control_de...	9	Voltaje_Luminaria_1	3fc32f70-e1fa-11e8-809d-078fa4c30267	voltaje	v	241
2019-02-21 3:42:09	EEASA_Control_de...	9	Voltaje_Luminaria_1	3fc32f70-e1fa-11e8-809d-078fa4c30267	voltaje	v	241
2019-02-21 3:41:32	EEASA_Control_de...	9	Voltaje_Luminaria_1	3fc32f70-e1fa-11e8-809d-078fa4c30267	voltaje	v	241
2019-02-21 3:41:19	EEASA_Control_de...	9	Voltaje_Luminaria_1	3fc32f70-e1fa-11e8-809d-078fa4c30267	voltaje	v	241

Figura 4-3: Datos obtenidos en Cayenne para la estabilidad del sistema

Realizado por: Martínez, Fernando; Ruiz, Franklin; 2019

Tabla 4-3: Muestras de corriente, voltaje y cálculo de Coeficiente de variación

Nº	Voltaje DC (V)	Corriente DC (mA)	Potencia (W)
1	241	714	208
2	241	714	208
3	241	714	208
4	241	714	208
5	241	714	208
6	241	714	208
7	241	714	208
8	238	714	208
9	241	714	208
10	241	714	208
11	241	714	208
12	241	714	208
13	241	714	208
14	241	714	208
15	241	714	208
Media	240,80	714,00	208
Desviación estándar	0,774	0	0
Coeficiente de variación (%)	0,0032%	0%	0%

Realizado por: Fernando Martínez, Franklin Ruiz, 2019

Al analizar la tabla 3.3 se pudo apreciar que el coeficiente de variación para la corriente y potencia es 0% mientras que el de voltaje es 0.0032%, determinando así que el prototipo es estable y no se considere de alta varianza ya que los valores no sobrepasan el 1.293% del coeficiente de variación según el INE para proyectos nuevos 2019.

3.2 Pruebas de comunicación

Para esta prueba se analizó dos tipos de comunicación: la comunicación entre los coordinador - routers y la comunicación entre *software* cayenne-coordinador.

3.2.1 Comunicación nodo Coordinador –nodos Routers

La siguiente prueba tiene la finalidad de determinar cuál es la distancia de comunicación entre router y coordinador sin pérdida de datos, para cual se realizan dos ensayos: con línea de vista pura y con obstáculos o sin línea de vista.

3.2.1.1 Con línea de vista

El objetivo de esta prueba es analizar la calidad de la señal entre el nodo coordinador y los nodos routers con respecto a la distancia cuando existe línea de vista. Se tomaron seis intervalos de 320 metros, separando a los nodos hasta llegar a la distancia máxima que exista comunicación. En la figura 5-3 se observa las distancias en Google Maps y en la tabla 5-3 se aprecia la calidad de la señal con respecto a la distancia con línea de vista pura.

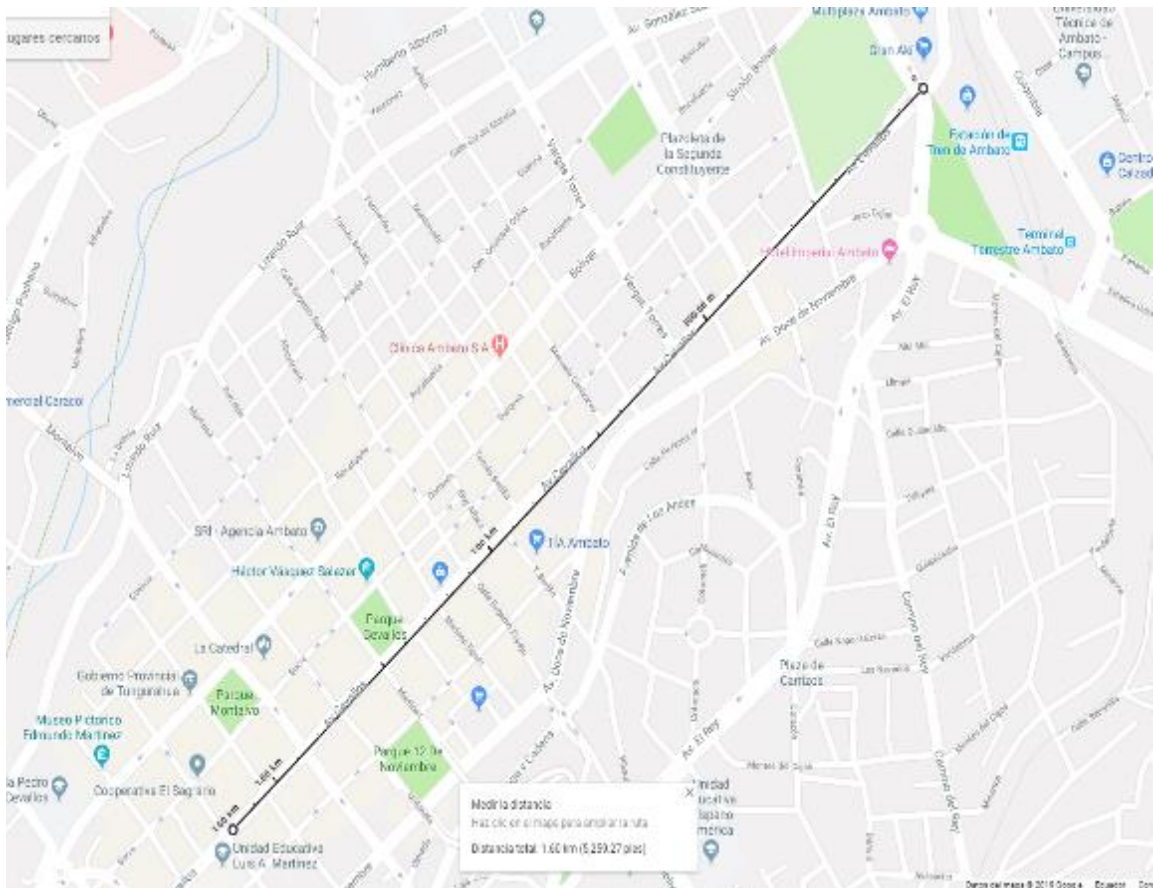


Figura 5-3: Distancia para la calidad de la señal con línea de vista

Realizado por: Martínez, Fernando; Ruiz, Franklin; 2019

Tabla 5-3: Calidad de la señal con respecto a la distancia con línea de vista

Distancia (m)	Calidad de la señal
0-320	Excelente

320-640	Alta
640-960	Media
960-1280	Baja
1280-1600	Sin señal

Realizado por: Fernando Martínez, Franklin Ruiz, 2019

Al analizar la tabla 5-3 se establece que la comunicación sin pérdida de datos alcanza una distancia de hasta 1280 metros con línea de vista. Lo que permite concluir que el prototipo implementado cumple con los requerimientos establecidos al inicio de la investigación.

3.2.1.2 Sin línea de vista

El objetivo de esta prueba consistió en analizar la calidad de la señal que tiene los Xbee Pro S2 de los nodos tomando en cuenta la distancia, por lo que se tomaron cinco intervalos de 25m separando a los nodos sin línea de vista hasta llegar a una distancia máxima en la que el coordinador pierda señal con los routers. En la figura 6-3 se observa las distancias obtenidas para conocer la calidad de señal mediante Google Maps y en la tabla 6-3 se aprecia la calidad de comunicación con respecto a la distancia.

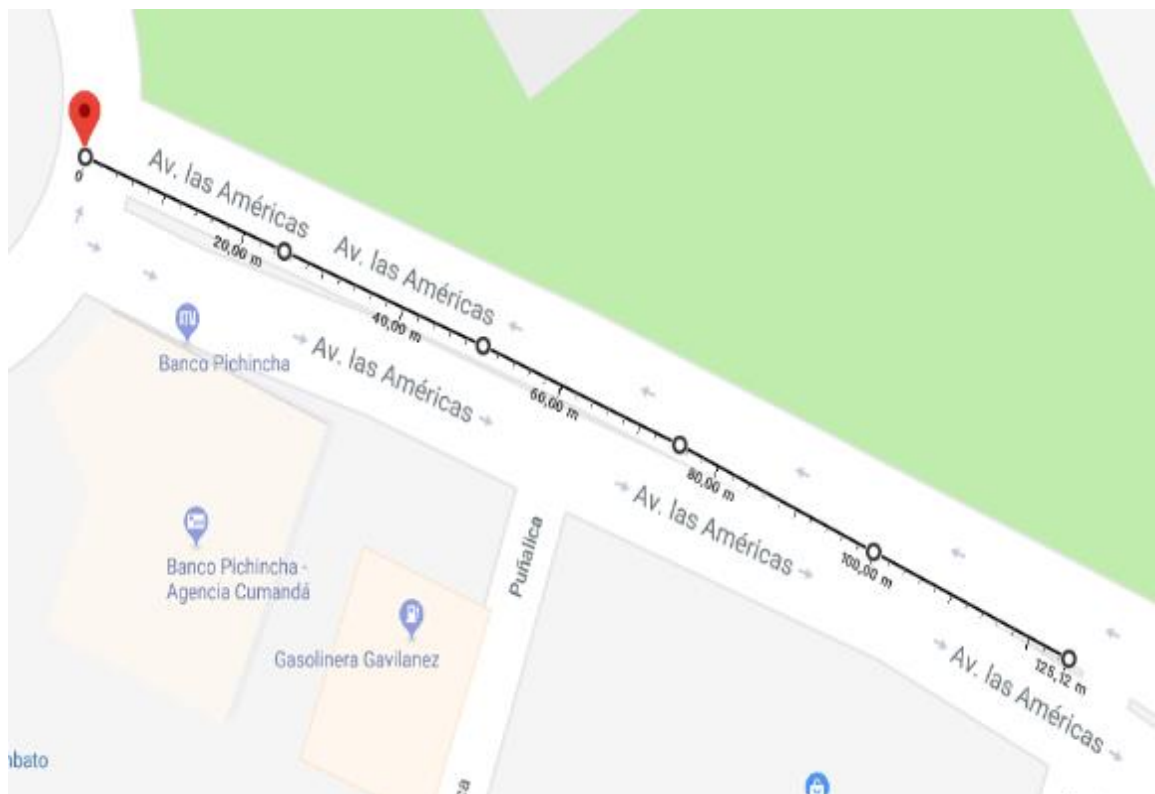


Figura 6-3: Distancias para la calidad de la señal

Realizado por: Martínez, Fernando; Ruiz, Franklin; 2019

Tabla 6-3: Calidad de comunicación con respecto a la distancia

Distancia (m)	Calidad de la señal
0-25	Excelente
25-50	Alta
50-75	Media
75-100	Baja
100-125	Sin señal

Realizado por: Fernando Martínez, Franklin Ruiz, 2019

Una vez analizada la tabla 5-3 se pudo determinar que la distancia máxima que soporta el prototipo es de 100 metros, concluyendo así que los dispositivos Xbees sin línea de vista cumplen con los requerimientos para la implantación.

3.2.2 Comunicación entre software Cayenne y nodo Coordinador

El objetivo de esta prueba es analizar que no existe pérdida de datos al momento de la comunicación entre el *software* cayenne y el coordinador, para lo cual se realizó 15 pruebas de encendido y apagado con tres luminarias en lapsos de cinco minutos desde le *software* al coordinador y se visualizó si la información llegaba de forma completa al coordinador mediante la utilización de la herramienta VNC Viewer (VNC Connect, 2019), el resultado de una de las supervisiones se observa en la figura 7-3. De las 15 pruebas realizadas se determinó que no presenta un error en la transmisión, concluyendo que la comunicación se realiza con el nodo coordinador.

```

v1/f10fc870-aa27-11e8-bb60-05d98174345f/things/218ba8e0-e1f8-11e8-8e60-53d8c8eabc71/cmd/20 EyuvEJDxyFmwHHT,1
message received: {'topic': u'cmd', 'value': u'1', 'msg_id': u'EyuvEJDxyFmwHHT',
'channel': 20, 'client_id': u'218ba8e0-e1f8-11e8-8e60-53d8c8eabc71'}
.....
{'topic': u'cmd', 'value': u'1', 'msg_id': u'EyuvEJDxyFmwHHT', 'channel': 20, 'c
lient id': u'218ba8e0-e1f8-11e8-8e60-53d8c8eabc71'}
.....
Canal: 20
Valor: 1
.....
PUB v1/f10fc870-aa27-11e8-bb60-05d98174345f/things/218ba8e0-e1f8-11e8-8e60-53d8c
8eabc71/data/20
1
|
PUB v1/f10fc870-aa27-11e8-bb60-05d98174345f/things/218ba8e0-e1f8-11e8-8e60-53d8c
8eabc71/response
ok, EyuvEJDxyFmwHHT

```

Figura 7-3: Dato enviado del software al coordinador
Realizado por: Martínez, Fernando; Ruiz, Franklin; 2019

3.3 Generación de Mensaje

El objetivo de la prueba es analizar que los mensajes de alerta se generan cuando existen luminarias defectuosas, para la prueba se utilizaron tres lámparas y se procedió a realizar la simulación del quemado de cada una, consistió en accionar la luminaria fuera del horario de funcionamiento en forma manual con periodos de cinco minutos. Al evaluar la prueba se observó que el prototipo envía los mensajes de alerta con un retardo de 2s propios de la operadora, concluyendo así que el prototipo cumple con el requerimiento de alerta de fallas en tiempo real. En la figura 8-3 se parecía el encendido manual de la lámpara y en la figura 9-3 se observa el mensaje de alerta.



Figura 8-3: Encendido manual de la lámpara
Realizado por: Martínez, Fernando; Ruiz, Franklin; 2019

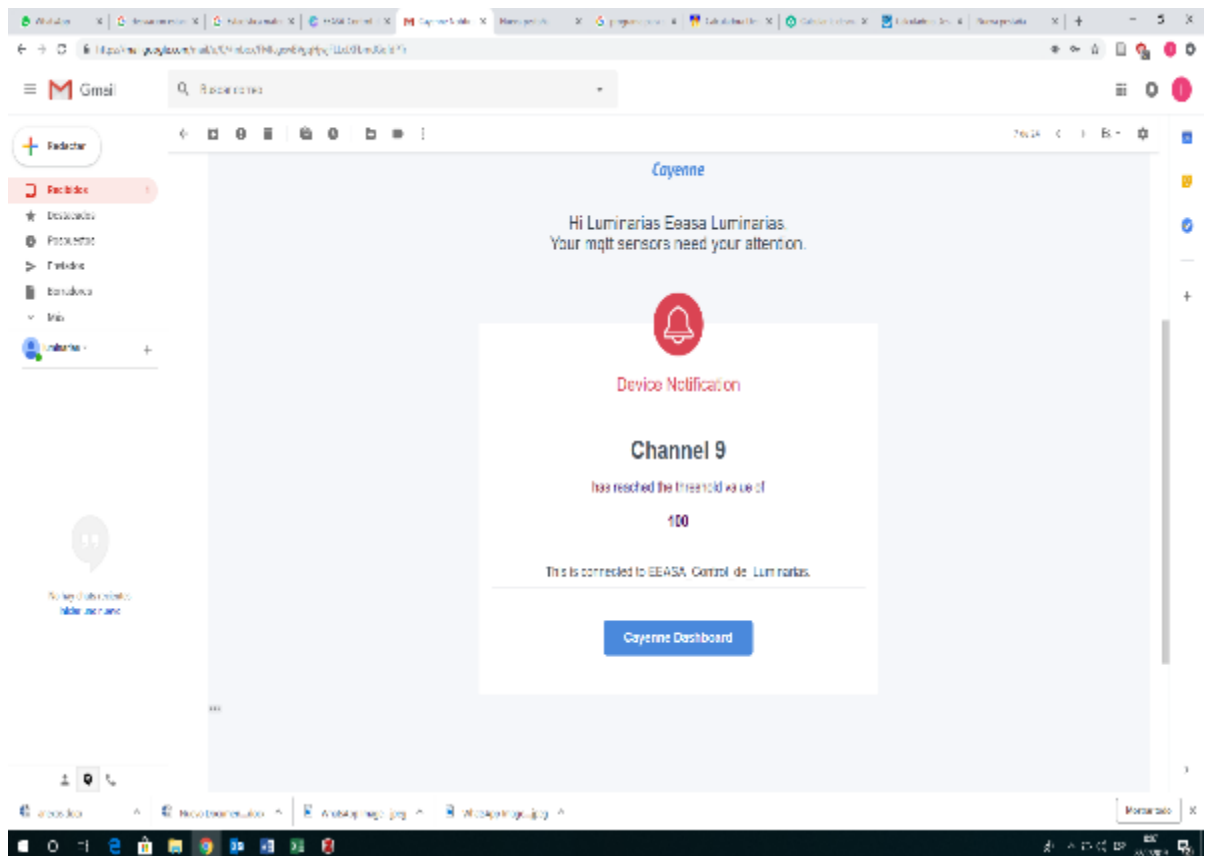


Figura 9-3: Mensaje de alerta
Realizado por: Martínez, Fernando; Ruiz, Franklin; 2019

3.4 Pruebas de implantación y funcionamiento

La tabla 7-3 muestra los datos de ubicación del sistema, consta del nombre de la Provincia, Cantón y Sector.

Tabla 7-3: Ubicación del sistema.

Provincia	Tungurahua
Cantón	Ambato
Sector	Redondel de Cumandá, Parque de la Laguna
Referencia	Banco Pichincha Agencia Cumandá
Coordenadas	-1.235693, -78.618997

Realizado por: Fernando Martínez, Franklin Ruiz, 2019

En la figura 10-3 se indica el sector de implantación del prototipo de red a través de Google Maps.

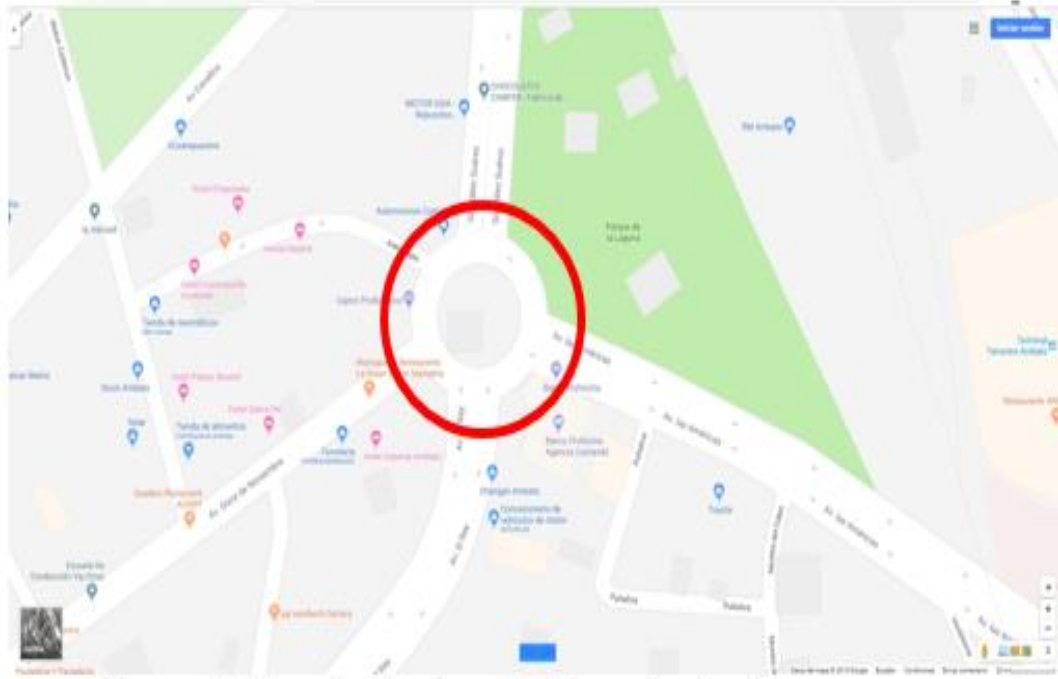


Figura 10-3: Sector de la implantación del prototipo de red
Realizado por:(Google Maps [sin fecha])

El prototipo de red que se observa en la figura 11-3 fue implementado a una altura de dieciséis metros como se especifican en las normas descritas en el Capítulo I.



Figura 11-3: Dispositivo implementado
Realizado por: Martínez, Fernando; Ruiz, Franklin; 2019

El coordinador en conjunto con los routers deben mantener línea de vista para que no exista pérdida de datos como aprecia en la figura 12-3



Figura 12-3: Coordinador con línea de vista al router
Realizado por: Martínez, Fernando; Ruiz, Franklin; 2019

Una vez ubicadas los routers y el coordinador se realizaron pruebas de comunicación para comprobar que no exista pérdida de datos, para ello se verificó que el coordinador está recibiendo la información de cada router como se aprecia en la figura 13-3

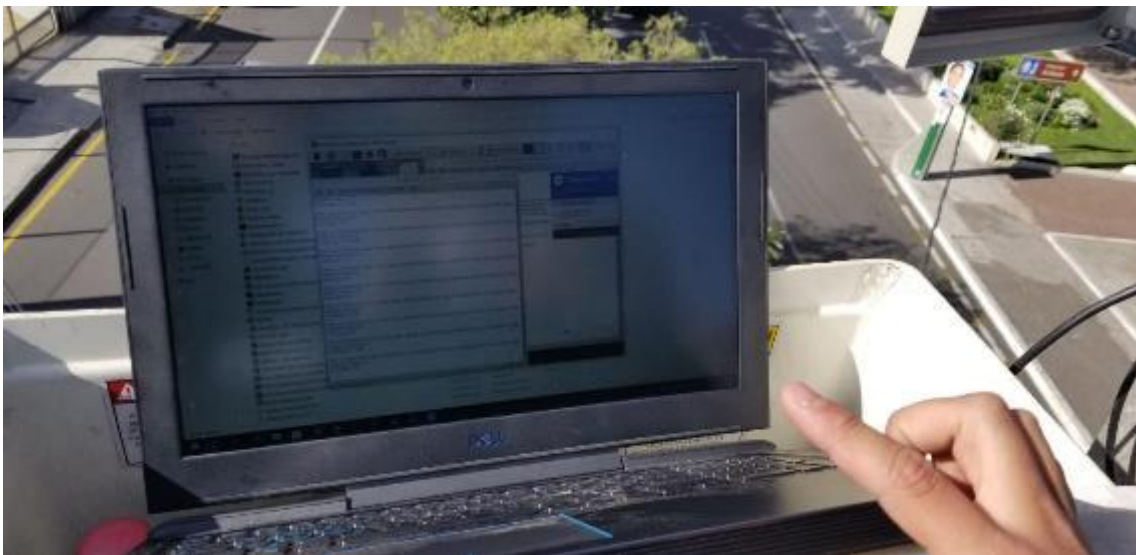


Figura 13-3: Comprobación de pruebas de comunicación
Realizado por: Martínez Fernando; Ruiz Franklin; 2019

Al realizar la prueba de comunicación se analizó que los datos se envían y reciben de forma correcta entre el coordinador y los routers, concluyendo así que el coordinador está recibiendo la información de los cinco routers implementados

Después de realizar las pruebas de comunicación entre el coordinador y los routers. En la figura 14-3 se observa el funcionamiento de luminarias desde el software cayenne, con el objetivo de verificar el encendido y apagado de las luminarias



Figura 14-3: Control de luminarias
Realizado por: Martínez, Fernando; Ruiz, Franklin; 2019

En la figura 15-3 se pudo comprobar las pruebas de alerta de fallas al observar los mensajes que se envían al correo electrónico del departamento de alumbrado público.

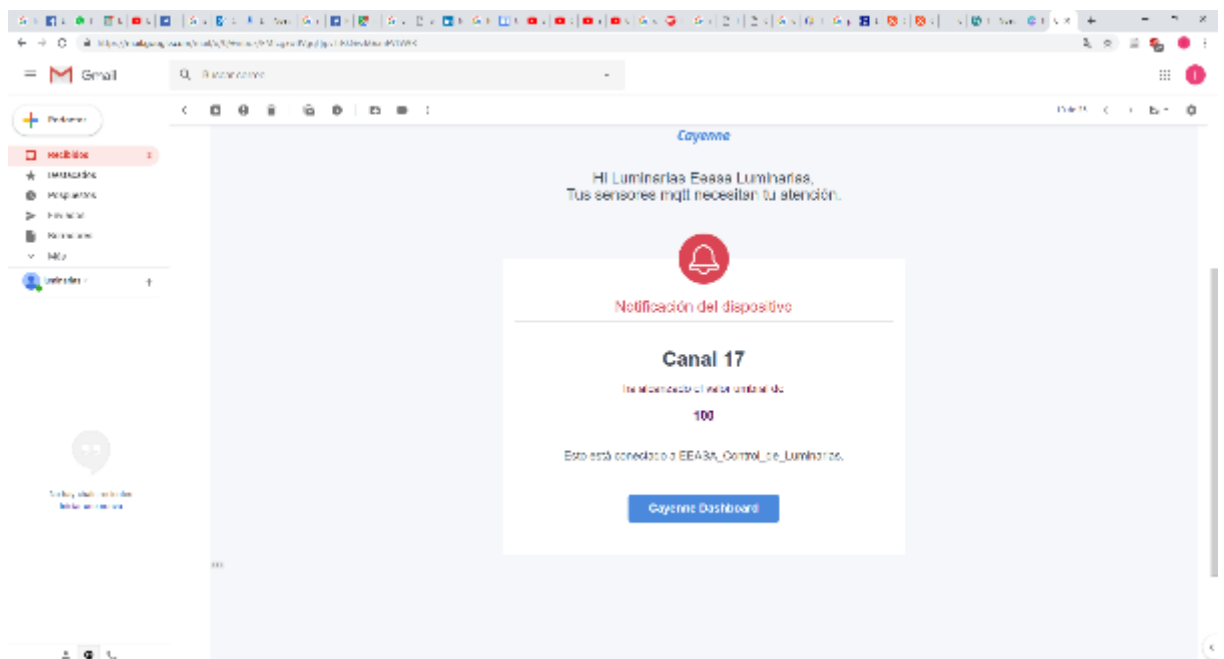


Figura 15-3: Alerta de falla mediante correo electrónico
Realizado por: Martínez Fernando; Ruiz Franklin; 2019

Los mensajes enviados por Cayenne son receptados en el departamento de alumbrado público para realizar las diferentes maniobras ya sea en forma directa desde el Cayenne o para la supervisión en el sitio. Para conocer el lugar de la luminaria defectuosa, el *software* Cayenne tiene un icono para la localización de la luminaria como se muestra en la figura 16-3

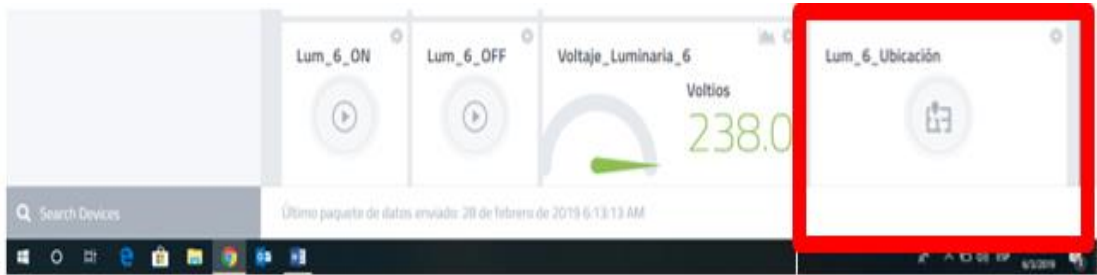


Figura 16-3: Icono para la localización de la luminaria en Cayenne
Realizado por: Martínez Fernando; Ruiz Franklin; 2019

Al seleccionar el icono de ubicación el Cayenne redirige de forma inmediata con las coordenadas enviadas por el GPS a una pestaña nueva en Google Maps mostrando así la ubicación de la luminaria como se aprecia en la figura 17-3.

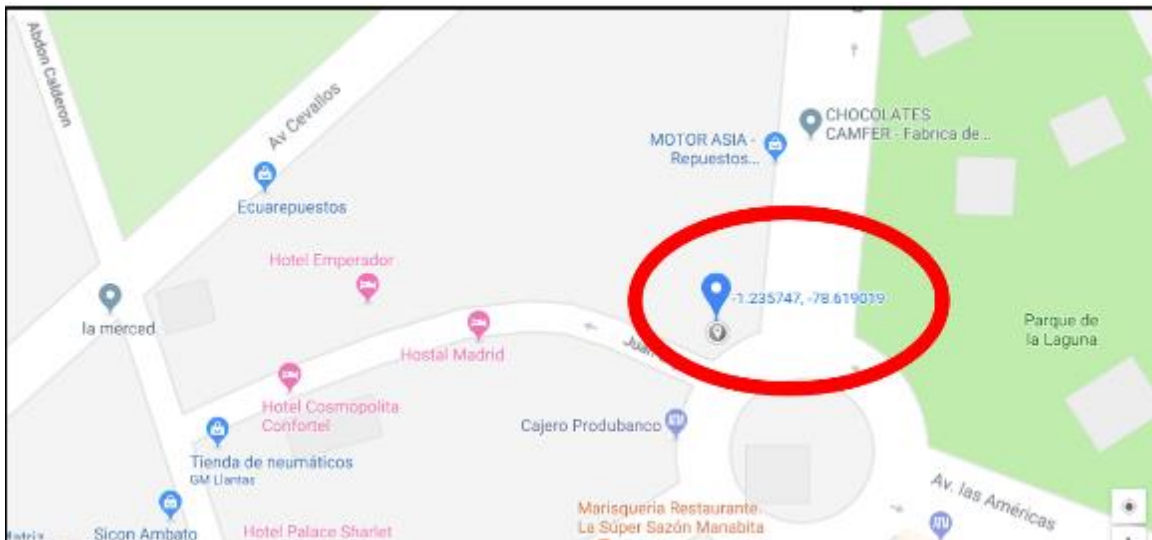


Figura 17-3: Localización GPS en Google Maps
Realizado por: Martínez Fernando; Ruiz Franklin; 2019

De las pruebas de implantación se analizó la ubicación de las luminarias, la comunicación entre nodos y la interferencia, verificando que el prototipo de red indica las posiciones correctas de las luminarias, manteniendo una comunicación estable y no genera interferencia para la supervisión y control de fallas en las luminarias.

3.5 Capacidad de nodos que puede soportar la red

Para determinar la capacidad máxima de nodos se utilizó el *software* Riverbed Modeler (Introduction to Riverbed Modeler Academic Edition, 2019), para lo cual se evaluó 5 muestras en intervalos de 16 routers con respecto al rendimiento de transmisión en un área de 1280m con línea de vista y 100m sin línea de vista hasta llevar al coordinador a su límite, tomando en cuenta que la primer

área se pueden colocar 32 luminarias mientras que en la segunda se pueden colocar 8 luminarias. En la figura 18-3 se puede observar las pruebas realizadas en el *software* y en la tabla 8-3 se aprecia en número de routers con respecto a su rendimiento.

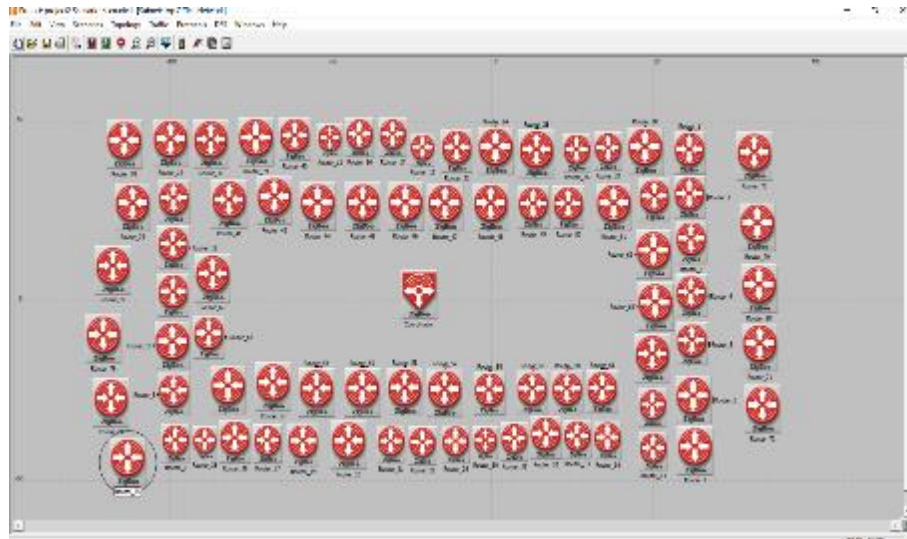


Figura 18-3: Simulación del tamaño del prototipo de red en Riverbed Modeler
Realizado por: Martínez, Fernando; Ruiz, Franklin; 2019

Tabla 8-3: Número de routers con respecto al rendimiento

Routers	Rendimiento (kbps)
16-32	21.3
33-48	40
49-64	102.5
65-80	142.5
81-96	No hay resultados

Realizado por: Fernando Martínez, Franklin Ruiz, 2019

De la tabla 8-3 se puede apreciar que el número máximo que soportaría el coordinador es de 80 routers con un rendimiento de 142.5Kbps en un área de 1280m con línea de vista y 100m sin línea de vista, concluyendo que el número de routers en el área determinada es suficiente para cubrir 32 y 8 luminarias respectivamente.

3.6 Consumo de energía del prototipo de red

Todos los elementos del prototipo necesitan alimentación de 5V DC y una corriente en DC para su funcionamiento. En la tabla 9-3 se muestra el consumo total de corriente en uno de los routers

que es de 262mA y utilizando la fórmula 1-3 se obtuvo la potencia de uno de los routers que es de 1.31W.

$$P = V * I \quad (1-3)$$

Tabla 9-3: Consumo de corriente DC en el router

Componente	Corriente en DC (mA)
Xbee Pro S2	45
Shield Xbee	40
Arduino Uno R3	46
Módulo GPS NEO 6M	45
Módulo de Corriente ACS 712-5A	66
Relevador 05VDC	20
Total	262

Realizado por: Fernando Martínez, Franklin Ruiz, 2019

En la tabla 10-3 se muestra el consumo total de corriente que es de 612 mA DC multiplicado por el voltaje nos da la potencia de 3.06 W

Tabla 10-3: Consumo de corriente DC en el coordinador

Componente	Corriente en DC (mA)
Raspberri Pi3	350
Xbee Pro S2	45
Shield Xbee	40
Arduino Uno R3	46
Módulo GPS NEO 6M	45
Módulo de Corriente ACS 712-5A	66

Relevador 05VDC	20
Total	612

Realizado por: Fernando Martínez, Franklin Ruiz, 2019

3.7 Análisis económico del prototipo de red

En la tabla 11-3 se aprecia los costos de los materiales utilizados en la construcción del coordinador y el router. El coordinador tiene un costo de 252.15 dólares, en cambio el costo del router es de 119.15 dólares.

Tabla 11-3: Precio de elementos para el coordinador y routers

	Elementos	Precio (\$)
COORDINADOR	Raspberry Pi 3 + case	100,00
	Xbee Pro S2 + Xbee Explorer	70,00
	Shield Xbee para Arduino Uno	10,00
	Arduino Uno	10,00
	Módulo sensor de Corriente ACS712-5A	12,00
	Módulo GPS NEO 6M	15,00
	Relevador 05VDC x 4	4,00
	Transistor 2n3904	0,25
	Resistencias x 4	0,40
	Caja Metálica (400x200x200)mm	15,00
	Cable concéntrico 4 X 18AWG, 10.5 metros	10,50
	Componentes extras	5,00
	Total	252,15
ROUTER	Xbee Pro S2	40,00
	Shield Xbee para Arduino Uno	10,00

Arduino Uno	10,00
Módulo sensor de Corriente ACS712-5 ^a	12,00
Módulo GPS NEO 6M	15,00
Relevador 05VDC x 4	4,00
Transistor 2n3904	0,25
Resistencias x 4	0,40
Caja Metálica (400x200x200)mm	12,00
Cable concéntrico 4 X 18AWG, 10.5 metros	10,50
Componentes extras	5,00
Total	119,15

Realizado por: Fernando Martínez, Franklin Ruiz, 2019

Al no tener un equipo patrón se procedió a analizar el total de gastos anuales de la cuadrilla de reparaciones y el valor monetario que representa el consumo de kW/h de ocho luminarias defectuosas durante un mes con respecto al total de la construcción del prototipo obteniendo que:

Al analizar el costo del prototipo y compararlo con los gastos anuales que genera la cuadrilla para reparar una luminaria defectuosa, se obtuvo que representa un ahorro del 33% anual y un 88.9 % mensual al comparar el valor invertido por consumo kW/h que podría generar ocho luminarias defectuosas por un mes. Se concluye que el prototipo implementado es de bajo costo y se puede convertir en una herramienta de ayuda para disminuir gastos generados en esta área

CONCLUSIONES

- Se implementó un prototipo de red que permite la supervisión en tiempo real de fallas del alumbrado público, cuenta en su estructura básica de un nodo coordinador y un router que trabajan con protocolo ZigBee. Emiten mensajes de alerta por medio de red celular a una página web, la que genera y envía un SMS con coordenadas de la lámpara que presenta daños a un número celular previamente registrado.
- De las pruebas realizadas al validar los sensores de corriente y voltaje, se determinó que no sobrepasan el error de $\pm 0.1A$ y de $\pm 10mV$ respectivamente, valores manejados por el equipo patrón utilizado. Por lo que se concluye que el prototipo implementado no incorpora error a los sensores y estos son similares a equipos comerciales.
- De las pruebas realizadas para la estabilidad del prototipo se determinó que el coeficiente de variación es menor igual a 0.0032%. Lo que determina que el prototipo implementado presenta estabilidad al ser menor al 1.293% determinando por INE para nuevos proyectos del 2019.
- En las pruebas de comunicación bidireccional entre nodos y coordinador se establece comunicación sin pérdida con distancias de hasta 1280 metros y 100 metros con y sin línea de vista respectivamente. Lo que permite concluir que el prototipo implementado cumple con los requerimientos establecidos al inicio de la investigación.
- En las pruebas de implantación se analizó la ubicación de seis luminarias, la comunicación entre nodos y la interferencia, verificando que el prototipo de red tiene la capacidad de identificar la ubicación de luminarias con una precisión no mayor a dos metros, mantienen una comunicación estable, no genera interferencia para la supervisión y control de fallas de las luminarias en el alumbrado público.
- La capacidad máxima de nodos que soportaría el coordinador de la red es de 80 routers con un rendimiento de 142.5Kbps en un área de 1280m con línea de vista y 100m sin línea de vista, concluyendo que el número de routers en el área determinada es apto para cubrir 32 y 8 luminarias respectivamente.
- Al analizar el costo del prototipo y compararlo con los gastos anuales que genera la cuadrilla para reparar una luminaria defectuosa, se obtuvo que representa un ahorro del

33% anual y un 88.9 % mensual al comparar el valor invertido por consumo kW/h que podría generar ocho luminarias defectuosas por un mes. Se concluye que el prototipo implementado es de bajo costo y se puede convertir en una herramienta de ayuda para disminuir gastos generados en esta área.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda estudiar la posibilidad de disminuir el tamaño de los nodos que integran la red del prototipo e integrarlos como elementos en las lámparas de alumbrado público.
- Estudiar la posibilidad de transmitir la información generada por el prototipo través de la red eléctrica para evitar implementar nueva infraestructura para la comunicación y así ampliar las áreas de cobertura.
- Estudiar la posibilidad de disminuir el costo que se invierte en el funcionamiento del alumbrado público al incorporar sensores que permitan atenuar la intensidad de la luminaria cuando no se encuentren usuarios por las calles.
- Incorporar el dispositivo *LoRaWAN* para enfocar el presente proyecto a los requerimientos característicos de Internet de las cosas tales como conexiones o comunicaciones bidireccionales seguras con mayor alcance de comunicación.

BIBLIOGRAFÍA

Alumbrado Público [en línea], 2017. [Consulta: 11 marzo 2019]. Disponible en: <http://www.mte-ecuador.com/alumbrado-publico/>.

Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energías Renovables. Alumbrado Público [en línea], 2012. [Consulta: 13 agosto 2018]. Disponible en: <https://www.iner.gob.ec/alumbrado-publico/>.

Alumbrado_Publico_Dossier [en línea], 2014. [Consulta: 13 agosto 2018]. Disponible en: https://www.iner.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/12/ALUMBRADO_PUBLICO_DOSSIER.

Anchatipan Aldaz, R. S. y Claudio Calvopiña, M.O., Análisis del sistema de alumbrado público que da servicio en el barrio Zumbalica Centro, Cantón Latacunga, Provincia de Cotopaxi. Propuesta de sistema de alumbrado público más eficiente [en línea] (Tesis) (Pregrado), 2016. [Consulta: 11 marzo 2019]. Disponible en: <http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/3653>.

Anexo1-Regulacion_CONELEC_008_11 [en línea],2012. [Consulta: 13 agosto 2018]. Disponible en: https://goberguayas.gob.ec/img/CNEL/ANEXO1-REGULACION_CONELEC_008_11.

Agencia de Regulación y Control de Electricidad, Servicio de Alumbrado Público General – ARCONEL. [en línea],2016. [Consulta: 10 marzo 2019]. Disponible en: <https://www.regulacionelectrica.gob.ec/estudio-de-costos-servicio-de-alumbrado-publico-general/>.

Arduino [en línea], 2015. [Consulta: 11 marzo 2019]. Disponible en: https://www.farnell.com/datasheets/1682209?fbclid=IwAR3H_giPq5D5A2r8dSVcd2JxpaFphRRrwZWzuIpEHALKSzTzjLoEuhvoI5E.

Barrett, S.F., *Arduino Microcontroller: Processing for Everyone!* S.I.: Morgan & Claypool Publishers. ISBN 978-1-60845-859-2,2012.

Bluetooth [en línea], 2017. [Consulta: 11 marzo 2019]. Disponible en: http://www.fecegypt.com/uploads/dataSheet/1480849570_hc06?fbclid=IwAR113oct5WEfownK3uvIH16CBGDFGpprI3MeSambFmKk2ZH7ZkenpZSmcY.

Brochure_iMX6_HummingBoard_2015-01-28 [en línea], 2015 [Consulta: 11 marzo 2019]. Disponible en: https://www.solidrun.com/download/pub/solidrun/HummingBoard/Brochure_iMX6_HummingBoard_2015-01-28?fbclid=IwAR0qLvMdAOLXuOI4dgf9oaXpAGjObsc6wAMHMQvHfCXPIX42EMt8t2Q64UE.

Catálogo LEDEX [en línea], 2018. [Consulta: 11 marzo 2019]. Disponible en: <https://issuu.com/santiagosoto13/docs/catalogo2018>.

Catálogo Luminarias Para Exterior, [en línea], 2017. [Consulta: 11 marzo 2019]. Disponible en: https://issuu.com/philipsilumina/docs/alumbrado_exterior_nl_2017.

- Chintan Shah**, Tvilight presents: «Intelligent Lighting and Smart Cities». *Intelligent Sensor Networks Conference* [en línea], 2014. [Consulta: 11 marzo 2019]. Disponible en: <https://www.isnconference.com/chintan-shah-tvilight-presents-intelligent-lighting-smart-cities/>.
- CNT Ecuador**, Configuración de los Modem - Router Huawei HG531s V1[en línea], 2015. [Consulta: 11 marzo 2019]. Disponible en: <http://tecnolomundo.blogspot.com/2015/11/configuracion-de-los-modem-router.html>.
- Current Sensor [en línea], 2014. [Consulta: 11 marzo 2019]. Disponible en: <https://www.sparkfun.com/datasheets/BreakoutBoards/0712?fbclid=IwAR1yOR-0XoqJkMg4KbE-dzMj0EsvlI87NNn8HqVOnTsKODnZQL3nskIjav4>.
- Edward, M., Karyono, K. Y Meidia, H.**, Smart fridge design using NodeMCU and home server based on Raspberry Pi 3. [en línea], 2017.S.l.: IEEE, pp. 148-151. [Consulta: 13 agosto 2018]. ISBN 978-1-5090-6282-9. DOI 10.1109/CONMEDIA.2017.8266047. Disponible en: <http://ieeexplore.ieee.org/document/8266047/>.
- Emary, I.M.M.E. Y Ramakrishnan, S.** *Wireless Sensor Networks: From Theory to Applications*. 2017, pp.15-17.
- Especificación Técnica Postes de Hormigón. [en línea], 2018. [Consulta: 16 marzo 2019]. Disponible en: http://www.unidadesdepropiedad.com/index.php?option=com_content&view=article&id=324&Itemid=706.
- Especificaciones Técnicas de luminarias LED. [en línea], 2018. [Consulta: 16 marzo 2019]. Disponible en: http://www.unidadesdepropiedad.com/index.php?option=com_content&view=article&id=579&Itemid=899.
- Agencia de Control y Regulación de Electricidad**, Estadística-anual-y-multianual-sector-eléctrico [en línea], 2016. S.l.: s.n. [Consulta: 13 agosto 2018]. Disponible en: <http://www.regulacionelectrica.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2017/08/Estad%C3%ADstica-anual-y-multianual-sector-el%C3%A9ctrico-2016>.
- ETISA-Detección-y-análisis-de-fallos-en-equipos-de-LED-1, [en línea], 2016. [Consulta: 11 marzo 2019]. Disponible en: <http://www.etisa.com/wp-content/uploads/ETISA-Detecci%C3%B3n-y-an%C3%A1lisis-de-fallos-en-equipos-de-LED-1>.
- Faludi, R.**, Building Wireless Sensor Networks: with ZigBee, XBee, Arduino, and Processing. S.l.: O'Reilly Media, Inc. ISBN 978-1-4493-0274-0, 2010, pp.4-6.
- Getting-started-with-flora [en línea], [sin fecha]. [Consulta: 11 marzo 2019]. Disponible en: <https://cdn-learn.adafruit.com/downloads/pdf/getting-started-with-flora?fbclid=IwAR33WMNL5Xq-onlixDHZpeNTE97B8lzT2uBhUA52ypbYfd2eSYCRPmAWW7g>.
- GlobalTop-FGPMOPA6H-Datasheet-V0A [en línea], 2016. [Consulta: 11 marzo 2019]. Disponible en: <https://cdn-shop.adafruit.com/datasheets/GlobalTop-FGPMOPA6H-Datasheet-V0A>.
- Google Maps [en línea], 2019. [Consulta: 10 marzo 2019]. Disponible en: <https://www.google.com/maps/@-1.236053,-78.6189633,19z>.

- GPS para móviles y su margen de error.** *Estacionamiento Simplificado* [en línea], 2015. [Consulta: 15 marzo 2019]. Disponible en: <https://blog.telpark.com/es/gps-para-moviles-y-su-margen-de-error/>.
- GPS-NEO-6** [en línea], 2017. [Consulta: 11 marzo 2019]. Disponible en: [https://www.u-blox.com/sites/default/files/products/documents/NEO-6_DataSheet_\(GPS.G6-HW-09005\)?fbclid=IwAR3KttjIXuMTvv4FCBgJhLLNgle1u-TZMF1cpBYPYAf30F_AnU-FReYl-98](https://www.u-blox.com/sites/default/files/products/documents/NEO-6_DataSheet_(GPS.G6-HW-09005)?fbclid=IwAR3KttjIXuMTvv4FCBgJhLLNgle1u-TZMF1cpBYPYAf30F_AnU-FReYl-98).
- Instituto Nacional de Estadística**, Coeficiente de variación de la tasa anual del índice general nacional de cifra de negocios (25989). [en línea], 2019. [Consulta: 17 marzo 2019]. Disponible en: <https://www.ine.es/jaxiT3/Datos.htm?t=25989>.
- Introduction to Riverbed Modeler Academic Edition:** *studylib.net* [en línea], 2019. [Consulta: 15 marzo 2019]. Disponible en: <https://studylib.net/doc/8318108/introduction-to-riverbed-modeler-academic-edition->.
- Jettanasen, C. Y Pothisarn, C.**, 2014. Analytical Study of Harmonics Issued from LED Lamp Driver. *Hong Kong*, pp. 4.
- Karl, H. Y Willig, A.** *Protocols and Architectures for Wireless Sensor Networks*. S.l.: John Wiley & Sons. ISBN 978-0-470-51923-3, 2010.
- Kurniawan, A.**, *Getting Started with Android Things for Raspberry Pi 3*. S.l.: PE Press, 2017.
- Martinsanz, G.P.**, *State-of-the-Art Sensors Technology in Spain 2017 Volume 2*. S.l.: MDPI. ISBN 978-3-03842-959-3, 2018.
- Morrison, C.R.**, *Build Supercomputers with Raspberry Pi 3*. S.l.: Packt Publishing Ltd. ISBN 978-1-78728-915-4, 2017
- Núñez, N. Y Patricio, F.**, Sistema de monitoreo y control de alumbrado público mediante una red de sensores RF. [en línea], 2017. [Consulta: 11 marzo 2019]. Disponible en: <http://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/25693>.
- Orange Pi 2G-IOT User Manual [en línea], [sin fecha]. S.l.: s.n. [Consulta: 11 marzo 2019]. Disponible en: <https://www.electronicsdatasheets.com/datasheet/Orange%20Pi%20G-IOT%20User%20Manual?fbclid=IwAR2iGBp7WiuKno8INVWLFuEHpX4WDjoiWY ZJmVU-hsWSnv9MLA2ZrzVAuo8>.
- Panguloori, R.B. Y Mishra, P.**, Analysis on system sizing and secondary benefits of centralized PV street lighting system. (*unav*) [en línea], 2014. [Consulta: 11 marzo 2019]. DOI 10.1109/pestse.2014.6805322. Disponible en: <http://ieeexplore.ieee.org/document/6805322/>.
- MT-1210**, User Manual, [en línea], 2014, [Consulta: 8 marzo 2019]. Disponible en: <https://www.allaboutcircuits.com/test-measurement/multimeters/eclipse-tools-mt-1210/manual/>.
- Raspberry-Pi-Model-Bplus-Product-Brief [en línea], [sin fecha]. [Consulta: 11 marzo 2019]. Disponible en: <https://static.raspberrypi.org/files/product-briefs/Raspberry-Pi-Model-Bplus-Product-Brief?fbclid=IwAR3-C32F03BjSaXkdI9p4u6QnSB21XHxCqznkxu2AurqXnbhi3fyS-w753E>.

- Consejo Nacional De Electricidad**, Regulación No. Conelec 005/14 El Directorio Del. Considerando: - PDF. [en línea], 2012. [Consulta: 11 marzo 2019]. Disponible en: <https://docplayer.es/42906078-Regulacion-no-conelec-005-14-el-directorio-del-consejo-nacional-de-electricidad-conelec-considerando.html>.
- Relés-Estado-Solido [en línea], 2016. [Consulta: 11 marzo 2019]. Disponible en: https://www.gavazzionline.com/pdf/ssr_rf1sp?fbclid=IwAR1iMEhNoF48bgRHrozTA2NziRs6cvKqIijveHo9iotakiXDfQcLz9VAr6E.
- Resolucion-y-Pliego-Tarifarios-SAPG [en línea], 2016. [Consulta: 13 agosto 2018]. Disponible en: <http://www.regulacionelectrica.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/01/Resolucion-y-Pliego-Tarifarios-SAPG>.
- Rf_Modulo_S433mhz001 [en línea], [sin fecha]. [Consulta: 11 marzo 2019]. Disponible en: <http://store.robodacta.mx/Material/RFMODULOS433MHZ001?fbclid=IwAR07yxXGQ4gWfjSEqmWGE897k9hLZU11BOp1C2ZcHKyMj0RxR1smLLIUuKY>.
- LLamas, L**, Sensor de corriente no invasivo SCT [en línea], [sin fecha]. [Consulta: 11 marzo 2019]. Disponible en: https://www.mcielectronics.cl/website_MCI/static/documents/Datasheet_SCT013?fbclid=IwAR1gJNsQMqm0UWhGiCMZwt8W3JCwI5F8iBspwMC1KQhFdlUMqwFKe8wCirs.
- Small Signal Npn Transistor [en línea], 2015. [Consulta: 11 marzo 2019]. Disponible en: https://www.sparkfun.com/datasheets/Components/2N3904?fbclid=IwAR1gSB3_fwKq1E9bA6JJ_Gua_PlgbzZfVgJ_ROFS4uWHtj8Uy1v9cBB7_xY.
- Songle-Relay [en línea], 2015. [Consulta: 11 marzo 2019]. Disponible en: https://www.electronicoscaldas.com/datasheet/SRD-Series_Songle-Relay?fbclid=IwAR0ssxalc21-AhHP_lhhbtcM5bmZVLcLFPs3mSiuTTkUd8HWu6zOHeuZaKk.
- Soto Noboa, J. Y Barrera Rovayo, F.**, Desarrollo de un sistema inteligente de gestión de alumbrado público en el Campus de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil. [en línea], 2013, [Consulta: 11 marzo 2019]. Disponible en: <http://repositorio.ucsg.edu.ec/handle/3317/1601>.
- Series_Songle-Relay [en línea], [sin fecha]. [Consulta: 11 marzo 2019]. Disponible en: https://www.electronicoscaldas.com/datasheet/SRD-Series_Songle-Relay?fbclid=IwAR0slyZOqR5n_wiESsyEOTvzgzDrCW5ois1aAmNLOiB4Mkd0tc4YaidBQ5k.
- Swami, A., Zhao, Q., Hong, Y.-W. Y Tong, L.**, *Wireless Sensor Networks: Signal Processing and Communications Perspectives*. S.l.: John Wiley & Sons. ISBN 978-0-470-06181-7, 2017, pp.5-7.
- Lumidim**, *Telegestión de Alumbrado Público*. [en línea], 2015. [Consulta: 11 marzo 2019]. Disponible en: <http://lumidim.com/es/soluciones/telegestion-de-alumbrado-publico/>.
- Tobar, A.E., Mosquera, M.C. Y Peñaherrera, A.C.**, Vicepresidente de la República del Ecuador, 2017, pp. 172.
- Trasancos, J.G.**, *INSTALACIONES ELÉCTRICAS EN MEDIA Y BAJA TENSIÓN*. S.l.: Editorial Paraninfo. ISBN 978-84-283-3190-6, 2016, pp.2.

Vnc Connect, Docs | Conectarse | VNC Connect. [en línea], 2019. [Consulta: 14 marzo 2019]. Disponible en: <https://www.realvnc.com/es/connect/docs/get-connected.html>.

Wackerly, D., Mendenhall, W. Y Scheaffer, R.L., *Mathematical Statistics with Applications*. S.l.: Cengage Learning. ISBN 978-1-111-79878-9, 2014.

Wireless Sensor Networks, *Current Status and Future Trends*, 2016. S.l.: CRC Press. ISBN 978-1-4665-0608-4.

Xbee-Shield [en línea], 2014. [Consulta: 11 marzo 2019]. Disponible en: https://www.robotshop.com/media/files/PDF/datasheet-shd005?fbclid=IwAR356yER6_4pFAmweNmPx3dC7bZLjJoWfd-YVNu5boU7XJWPMWMMX3wu3NS4.

XBee-Pro-S2 [en línea], 2014. [Consulta: 11 marzo 2019]. Disponible en: <https://www.sparkfun.com/datasheets/Wireless/Zigbee/XBee-Datasheet?fbclid=IwAR06dvj2csTdZ6-ZzPLbJodKQBxEX69LV6J6wGBI0eF6o6x2ZesyB4A8FSY>.

Zheng, J. Y Jamalipour, A., *Wireless Sensor Networks: A Networking Perspective*. S.l.: John Wiley & Sons. ISBN 978-0-470-44351-4, 2019.