



UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA

**FACULTAD DE LA ENERGIA, LAS INDUSTRIAS Y LOS
RECURSOS NATURALES NO RENOVABLES**

**CARRERA DE INGENIERIA EN ELECTRÓNICA
Y TELECOMUNICACIONES**

**DISEÑO DE UNA RED DE TELEMETRÍA PARA GESTIÓN DEL
SISTEMA DE ALUMBRADO PÚBLICO DEL ÁREA DE
REGENERACIÓN URBANA DE LA CIUDAD DE LOJA**

*TESIS DE GRADO PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES.*

AUTOR: BRYAN ARMANDO ROMERO CARRIÓN

DIRECTOR: ING. ANDY FABRICIO VEGA LEÓN, MG. SC.

LOJA-ECUADOR

2019

CERTIFICACIÓN


Ing. Andy Fabricio Vega León, Mg. Sc.

DIRECTOR DE TESIS

CERTIFICA:

Haber dirigido, asesorado, revisado y corregido el presente trabajo de tesis de grado, en su proceso de investigación cuyo tema versa en “**DISEÑO DE UNA RED DE TELEMETRÍA PARA GESTIÓN DEL SISTEMA DE ALUMBRADO PÚBLICO DEL ÁREA DE REGENERACIÓN URBANA DE LA CIUDAD DE LOJA**”, previo a la obtención del título de **Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones**, realizado por el señor egresado: **Bryan Armando Romero Carrión**, mismo que cumple con la reglamentación y políticas de investigación, por lo que autorizo su presentación y posterior sustentación y defensa.

Loja, 02 de enero del 2018

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Andy Fabricio Vega León', is written over a horizontal line.

Ing. Andy Fabricio Vega León, Mg. Sc

DIRECTOR DE TESIS

AUTORÍA

Yo **BRYAN ARMANDO ROMERO CARRIÓN**, declaro ser autor del presente trabajo de tesis y eximo representante a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos de posibles reclamos o acciones legales por el contenido de la misma.

Adicionalmente, acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja, la publicación de mi tesis en el Repositorio Institucional-Biblioteca Virtual.

FIRMA:

A handwritten signature in blue ink, consisting of a large, stylized 'B' followed by 'R' and 'C', with a horizontal line underneath.

Cédula: 1900644236

Fecha: 02 de Enero del 2019

CARTA DE AUTORIZACIÓN DE TESIS POR PARTE DEL AUTOR, PARA LA CONSULTA, REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL Y PUBLICACIÓN ELECTRÓNICA DEL TEXTO COMPLETO.

Yo **BRYAN ARMANDO ROMERO CARRIÓN**, declaro ser autor de la tesis titulada: “ **DISEÑO DE UNA RED DE TELEMETRÍA PARA GESTIÓN DEL SISTEMA DE ALUMBRADO PÚBLICO DEL ÁREA DE REGENERACIÓN URBANA DE LA CIUDAD DE LOJA**”, como requisito para optar al grado de: **INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES**; autorizo al Sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que con fines académicos , muestre al mundo la reproducción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera en el Repositorio Digital Institucional:

Los usuarios pueden consultar el contenido de este trabajo en el RDI, en las redes de información del país y del exterior, con las cuales tenga convenio la Universidad.

La Universidad Nacional de Loja, no se responsabiliza por el plagio o copia de la tesis que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Loja, a los 15 días del mes de marzo del dos mil diecinueve.

Firma:

Autor: Bryan Armando Romero Carrión

Cédula: 1900644236

Dirección: Zamora (Rafael O. y Juan de S.) **Correo electrónico:** baromero@unl.edu.ec

Teléfono: (07) 2-606-603

Celular: 0983314258

DATOS COMPLEMENTARIOS

Director de Tesis: Ing. Andy Fabricio Vega León, Mg. Sc.

Tribunal de Grado: Ing. Paulo Alberto Samaniego Rojas, Mg. Sc,

Ing. John Jossimar Tucker Yépez, Mg. Sc.

Ing. Franklin Gustavo Jiménez Peralta, Mg. Sc.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo, con mucho cariño a mis padres Armando y Martha, por su amor, su esfuerzo diario, apoyo y preocupación que mantuvieron conmigo en todo momento.

A mi hermana Génesis que siempre está brindándome su apoyo incondicional, a mi pequeño ángel Noelia que estoy seguro de que desde el cielo siempre está pendiente de mí.

Bryan Romero Carrión

AGRADECIMIENTO

A Dios, por permitirme alcanzar una meta más en mi vida.

A mis padres y hermanas por el apoyo incondicional brindado en todo momento, que hicieron posible terminar mis estudios universitarios.

Mi agradecimiento de todo corazón a la Carrera de Ingeniería en Electrónica y Telecomunicaciones, de la Facultad de la Energía, las Industrias y los Recursos Naturales no Renovables de la Universidad Nacional de Loja, por acogerme durante 5 años en sus aulas y brindarme junto con sus docentes, una excelente formación académica.

Un agradecimiento especial al Ing. Andy Vega León, director de la presente tesis, quien me supo guiar para poder culminar este trabajo con éxito.

Bryan Romero Carrión.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CERTIFICACIÓN.....	II
AUTORÍA	III
CARTA DE AUTORIZACIÓN	IV
DEDICATORIA.....	V
AGRADECIMIENTO	VI
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	VII
ÍNDICE DE FIGURAS	XII
ÍNDICE DE TABLAS.....	XV
1. TÍTULO.....	1
2. RESUMEN	2
3. INTRODUCCIÓN.....	4
4. REVISIÓN DE LITERATURA	6
4.1 Estado actual del sistema de alumbrado público del área de regeneración urbana de la ciudad de Loja.....	6
4.2 Sistemas de Telemetría y Telegestión para alumbrado público	8
4.3 Comunicación mediante líneas de potencia (PLC).....	9
4.4 Redes de Sensores Inalámbricos - <i>Wireless Sensor Network</i> (WSN)	10
4.4.1 Arquitectura de una WSN	11
4.4.2 Redes inalámbricas reconfigurables	11
4.4.3 Nodo Sensor	12
4.4.4 Propagación de ondas electromagnéticas para la banda de 2.4 GHz en ambientes urbanos	13
4.4.5 Modelo de propagación	14

4.4.6	Topología dinámica	15
4.4.7	Bajo consumo de energía.....	16
4.5	Smart Cities	16
4.6	ZigBee	19
4.6.1	Tipos de Dispositivos	19
4.6.2	Seguridad en Dispositivos <i>ZigBee</i>	21
4.6.2.1	Claves	21
4.6.3	Seguridad en la capa de red	22
4.6.4	Capa de Aplicación.....	24
4.6.4.1	Estructura de la capa de Aplicación	24
4.6.4.2	Seguridad en la capa de aplicación.....	25
4.6.5	Gestión de Seguridad.....	25
4.6.5.1	Establecimiento de nueva red.....	26
4.6.6	Capa Física	27
4.7	Soluciones para Telegestión	28
4.8	Solución Schröder para telegestión en redes de alumbrado público	29
4.8.1	Owlet Nightshift – Interoperable Network (Red interoperable).....	31
4.8.2	Beneficios	32
4.8.3	Características.....	32
4.8.4	Elementos	33
4.8.4.1	Controlador de luminaria (LuCo).....	33
4.8.4.2	Controlador de segmento (SeCo)	37
4.8.4.3	OWLET Web-UI/Servidor Web – Owlet Nightshift.....	38
4.9	AirView	39
4.10	NetSpot.....	41
4.11	Generalidades sobre Fibra óptica.	41
4.11.1	Estándar de fibra óptica	43
4.11.2	Atenuación en el enlace de fibra óptica.....	43
4.11.3	Distribuidor de fibra óptica (ODF).....	44
4.11.4	Patch Cord	45

4.11.5	Pigtail.....	48
5.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	49
5.1	Elección de Topología.....	49
5.2	Potencia de transmisión.....	51
5.3	Modelo de propagación.....	52
5.4	Análisis insitu del espectro electromagnético.....	54
6.	RESULTADOS.....	56
6.1	Resultados y análisis de la simulación de red.....	56
6.2	Resultados y análisis de la simulación de potencia.....	61
6.3	Resultados y análisis de propagación.....	62
6.3.1	Resultados - Perfil 1.....	62
6.3.2	Resultados - Perfil 2.....	64
6.3.3	Selección de canal.....	67
6.4	Distribución de luminarias y establecimiento de arquitectura de comunicación 69	
6.5	Topología lógica y física de la red.....	71
6.5.1	Acometida.....	72
6.5.2	Distribuidor de fibra óptica - ODF.....	73
6.5.3	Canalización.....	73
6.5.4	Equipos activos para la red de fibra óptica.....	74
6.5.4.1	Switch industrial.....	74
6.5.4.2	Transceptor óptico.....	75
6.5.5	Cálculo de atenuación en el enlace de fibra óptica.....	76
6.5.6	Seguridad Owllet Nightshift.....	77
7.	DISCUSIÓN.....	79
8.	CONCLUSIONES.....	81
9.	RECOMENDACIONES.....	83

10. BIBLIOGRAFÍA	84
11. ANEXOS	90
Anexo 1. Sección de la zona de intervención para análisis de potencia.....	91
Anexo 2. Memoria técnica soterramiento centro ciudad de Loja, pp.37.....	92
Anexo 3. Especificaciones de los módulos XBee de Digi.	93
Anexo 4. Script de MATLAB – transcripción de ubicación geográfica de los postes de alumbrado y establecimiento de vecinos.....	94
Anexo 5. Tabla de distancias entre nodos conectados, obtenida desde MATLAB.....	96
Anexo 6. Modelamiento de modelo de propagación COST 231.....	98
Anexo 7. Características de Owllet red Intergestionable.....	99
Anexo 8. Especificaciones - Controlador de Luminaria LuCo-P7.....	100
Anexo 9. Especificaciones - Controlador de Luminaria LuCo-NXP.....	102
Anexo 10. Especificaciones de la familia ConnectPort®X4.....	104
Anexo 11. Montaje de Controlador de Segmento -ConnectPort®X4.....	106
Anexo 12. Antena: DC-ANT-24DP – para ConnectPort®x4.	109
Anexo 13. Antena: A24-HASM-450-ND - para controlador de luminaria.....	110
Anexo 14. Montaje de antena Ubiquiti Nanostation Loco M2 para lectura del espectro en la banda ISM en 2.4 GHz.	111
Anexo 15. Plano de segmentación de controladores de luminarias para controladores de segmento.....	112
Anexo 16. Detalle de segmentación de controladores de luminarias para controladores de segmento.	113

Anexo 17. Plano de la red de distribución óptica.	121
Anexo 18. Vista lateral - cámara tipo de transformación en calzada.	122
Anexo 19. Diagrama de hilos.	123
Anexo 20. Oficio Nro. EERSSA-GEOPE-2018-0127-OF	124

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Lámparas de Vapor de Sodio	6
Figura 2. Telegestión por PLC (<i>Power Line Communication</i>), [9].....	9
Figura 3. Telegestión de alumbrado público, [10].....	10
Figura 4. Arquitectura de red WSN, [12].	11
Figura 5. Diagrama de bloques del nodo sensor.....	12
Figura 6. Coexistencia <i>Wi-Fi</i> IEEE - 802.11 y <i>ZigBee</i> IEEE 802.15.4, [14].	13
Figura 7. Potencia teórica recibida según distintos modelos de propagación, [17].....	14
Figura 8. Topologías comunes en WSN.....	15
Figura 9. <i>Hype Cycle</i> para estándares y protocolos IoT, Agosto del 2018, [23].	18
Figura 10. Pila de protocolo <i>ZigBee</i> , [27].	19
Figura 11. Tasa de error de bit (BER) frente a la densidad espectral de ruido E_b/N_0 para 64 QAM, OQPSK Y 8 PSK en un canal <i>Rayleigh</i>	28
Figura 12. Soluciones Inteligentes <i>Owlet</i> – Schröder, [26].	30
Figura 13. Red Interoperable <i>Owlet Nightshift</i> de Schröder, [26].	31
Figura 14. Controlador colocado en el interior de la luminaria, [36].	33
Figura 15. LuCo-P7 (controlador de luminaria), [26].	34
Figura 16. LuCo-NXP Controlador y medidor lumínico, [26].	34
Figura 17. Técnica de montaje para controladores de luminaria, [26].	36
Figura 18. Arquitectura de sistema telegestión planteado por Schröder, [36].	37
Figura 19. Controlador de Segmento Schröder, [26].	38
Figura 20. Servidor <i>Web</i> – <i>Owlet Nightshift</i> , [38].	38
Figura 21. Captura de pantalla de la herramienta <i>AirView</i> de Ubiquiti, [40].	39
Figura 22. Captura de pantalla – <i>NetSpot</i>	41
Figura 23. Esquema general de un sistema de comunicaciones ópticas, [42].	42

Figura 24. Estructura interna de la fibra óptica, [43].....	42
Figura 25. ODF plástico, [46].....	44
Figura 26. Esquema de fusiones de fibra óptica en un ODF, [43].	45
Figura 27. Patch cord de fibra óptica, [44].....	45
Figura 28. Tipos de conectores de fibra óptica, [44].....	46
Figura 29. Tipos de Pulido, [44].....	47
Figura 30. Pigtail de Fibra Óptica, [44].....	48
Figura 31. Transcripción de la ubicación geográfica de las luminarias realizada en MATLAB.	51
Figura 32. Red construida en Riverbed Modeler con diferentes topologías.	57
Figura 33. Carga en MAC para las topologías en malla (azul) y árbol (rojo).	57
Figura 34. Retardo de extremo a extremo en la capa de aplicación.	58
Figura 35. Resultados gráficos obtenidos de la comparativa entre topologías de árbol y de estrella.....	60
Figura 36. Nodos con cobertura de 90m,	61
Figura 37. Nodos con cobertura de 70m.	62
Figura 38. Ubicación de puntos para perfil de enlace 1 - extraído de Google Earth.....	62
Figura 39. Resultado de perfil de enlace 1 – extraído de Radio Mobile.	63
Figura 40. Ubicación de puntos para perfil de enlace 2 - extraído de Google Earth.....	64
Figura 41. Resultado de perfil de enlace 2 – extraído de Radio Mobile.	65
Figura 42. Perdidas por trayectoria usando el modelo COST 231.	66
Figura 43. Potencia en el receptor.	66
Figura 44. Barrido espectral en la banda de 2.4 GHz en el área del Proyecto de Regeneración Urbana de la ciudad de Loja.	67
Figura 45. Redes detectadas usando NetSpot en la esquina del Parque central, calles Bolívar y José Antonio Eguiguren, horario vespertino.	68

Figura 46. Barrido espectral en la banda de 2.4 GHz en la periferia del área correspondiente al Proyecto de Regeneración Urbana de la ciudad de Loja.....	68
Figura 47. AMPERA MIDI – Schröder, [49].	69
Figura 48. AMPERA MIDI –Antena para LuCo, [49].	70
Figura 49. Anillo de fibra para sistema de telecontrol.	71
Figura 50. Derivación de cable de red troncal hacia el <i>switch</i> , [44].	72
Figura 51. Ductería para redes subterráneas de abastecimiento de energía eléctrica del casco urbano central de la ciudad de Loja, [44].	73
Figura 52. Switch industrial ethernet - Cisco IE-2000-4TS-G-L, [52].	74
Figura 53. Transceptor óptico GLC-BX-U SC, [53].	75
Figura 54. Seguridad en el sistema de Telegestión, [38].	77

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Comparativa entre <i>LoraWAN</i> y <i>ZigBee</i> , [20], [22].....	17
Tabla 2. Trama de red, [26].....	22
Tabla 3. Trama de la capa de aplicación, [26].....	25
Tabla 4. Comparativa entre controladores de luminaria LuCo NXP y P7, [26].....	35
Tabla 5. Tabla comparativa de pérdida de inserción y pérdida de retorno, [44].	47
Tabla 6 Comparación entre herramientas de modelado WSN, [47].....	50
Tabla 7. Coordinador Enrutamiento en Árbol, [El Autor].	51
Tabla 8. Coordinador Enrutamiento en Malla, [El Autor].	51
Tabla 9. Información geográfica de nodos, [El Autor].....	53
Tabla 10. Parámetros establecidos dentro de Radio Mobile. Fuente, [El Autor].....	54
Tabla 11. Resumen de los resultados de las comparaciones entre las topologías en allá y árbol.....	60
Tabla 12. Características principales del Switch Cisco IE-2000-4TS-GL, [52].	75
Tabla 13. Características del transceptor óptico, [53].	76
Tabla 14. Niveles y tecnologías usada en seguridad, [38].....	78

1. TÍTULO

**“DISEÑO DE UNA RED DE TELEMETRÍA PARA GESTIÓN DEL SISTEMA
DE ALUMBRADO PÚBLICO DEL ÁREA DE REGENERACIÓN URBANA DE
LA CIUDAD DE LOJA”**

2. RESUMEN

La presente tesis pone a disposición una propuesta técnica que garantiza el buen desempeño de la red de telegestión que acompañará al nuevo sistema de alumbrado público de la Zona que corresponde al “Proyecto de Regeneración Urbana de la ciudad de Loja”.

Iniciando con un breve análisis del estado actual del sistema de alumbrado público, quedan sentadas las bases para iniciar con la construcción de la propuesta, continuando con la revisión bibliográfica que da a conocer tecnologías y protocolos vigentes entorno a las redes de sensores inalámbricos, *ZigBee*, la telegestión y la fibra óptica.

Contractualmente, se conoce que el despliegue del sistema de alumbrado para el área de intervención de la regeneración urbana se lleva a cabo usando la marca Schréder, bajo la supervisión de la Empresa Eléctrica Regional del Sur S.A.- EERSSA, motivo por el cual los distintos análisis se realizaron con base en valores comerciales de los dispositivos con los que trabaja la marca. Herramientas informáticas como MATLAB, Riverbed Modeler, airView, NetSpot y AutoCAD, fueron necesarias para lograr definir una propuesta sólida, que se detalla a lo largo del último capítulo.

ABSTRACT

This article provides a technical proposal that ensures the good performance of the network telemanagement that accompanies the new public lighting system in the area that will complement to the " Proyecto de Regeneración Urbana de la ciudad de Loja".

Starting with a brief analysis of the current state of public lighting system let's maintain the bases to start with the construction of the proposal, continue with the bibliographic review of wireless sensor networks, ZigBee, telemanagement and fiber optics.

It is known that the contract provides inter alia, the deployment of the lighting system for the intervention area of urban regeneration is carried out using the Brand Schröder, under the supervision of "Empresa Eléctrica Regional del Sur S.A.- EERSSA", that is why the different analysis were carried out based on commercial values of the devices with which the brand works. Computer tools such as MATLAB, Riverbed Modeler, AirView, NetSpot and AutoCAD were necessary to define a solid proposal, which is detailed throughout the last chapter.

3. INTRODUCCIÓN

El alumbrado público es uno de los servicios fundamentales, en cuanto a movilidad, ornamentación y seguridad para la ciudadanía. Teniendo en cuenta que, en Ecuador, según datos obtenidos del Balance Energético Nacional 2013, elaborado por el Ministerio Coordinador de los Sectores Estratégicos (MICSE), la red de alumbrado público constituye uno de los rubros de consumo energético más importante, llegando a representar el 5,68% (189 MW) de la demanda máxima del Sistema Nacional Interconectado, [1], cifra que en el 2018 llegó hasta el 5,50%; se crea el “Plan maestro de electrificación 2013-2022” elaborado por el anterior Consejo Nacional de Electricidad (CONELEC), en donde se contempla la implementación tanto de nuevas tecnologías como luminarias (Diodo Emisor de Luz) LED así como de telegestión para alumbrado público, con la finalidad de lograr eficiencia en el consumo energético, reducir el impacto ambiental y obtener un aceptable retorno de la inversión, mejorando la percepción de la seguridad y confort visual de la población, [2].

El proyecto de Regeneración Urbana que se lleva a cabo desde el año 2016 en la ciudad de Loja, es un plan que contempla la intervención de las 170 hectáreas que abarcan 163 manzanas del casco antiguo de la ciudad de Loja, con el objetivo de mejorar las principales redes de servicios básicos. En lo que corresponde al sistema de alumbrado público, se ha diseñado de acuerdo con la Regulación Nro. ARCONEL 006/18 emitida por la Agencia de Regulación y Control de Electricidad - ARCONEL, con luminarias de tecnología LED, acorde a las tecnologías actuales, contribuyendo además con el desarrollo sustentable de la ciudad. La tendencia de las tecnologías vigentes va enfocada a la reducción del consumo energético, por ello las luminarias antes mencionadas requieren de un sistema que permita conocer y controlar su desempeño, obteniendo de esta manera un ahorro adicional. Con el presente proyecto se pretende elaborar una propuesta técnica para la implementación de un sistema de telegestión que complemente a la nueva red de luminarias, permitiendo obtener mejores resultados.

Los sistemas de Telegestión para alumbrado público en conjunto con las luminarias LED, prometen un ahorro de energía de hasta un 45%, por lo que ya se ha implementado con gran éxito en ciudades como Heidelberg (Alemania) y Bucaramanga (Colombia), [3].

Los estudios relacionados con la telemetría y telegestión ponen a disposición distintas estrategias para cumplir con el objetivo de la red, debido a la gran cantidad de información con respecto a las WSN se puede implementar sistemas utilizando tecnologías libres o propietarias, por lo que el presupuesto que se tenga disponible es un aspecto muy importante para considerar al momento de tomar un camino para construir una solución. Debido a que las zonas pobladas constituyen un ambiente con alta interferencia dentro de la banda (*Industrial, Scientific and Medical*) ISM, trabajos realizados en esta línea de investigación, determinan conveniente utilizar un transceptor que tiene un rango de trabajo que va de desde 2.4 GHz a 2.525 GHz ósea que va más allá de lo establecido para las bandas ISM para 2.4 GHz, lo que desde el punto de vista técnico puede ser considerada una opción, sin embargo, teniendo en cuenta que se estaría operando en una banda licenciada, esto generaría un gasto extra para el mantenimiento de la red, [4].

4. REVISIÓN DE LITERATURA

4.1 Estado actual del sistema de alumbrado público del área de regeneración urbana de la ciudad de Loja.

El proyecto de Regeneración Urbana que se lleva a cabo desde el año 2016 en la ciudad de Loja, es un plan que contempla la intervención de sistemas de agua potable, alcantarillado sanitario, alcantarillado pluvial, soterramiento de cables de energía eléctrica, fibra óptica, telefonía, semaforización y mejoramiento del ornato de las 170 hectáreas que abarcan 163 manzanas del casco antiguo de la ciudad de Loja, [5].

El sistema de alumbrado público instalado en la zona del proyecto de Regeneración Urbana en la ciudad de Loja ha venido funcionando desde hace 25 años con lámparas de vapor de sodio, como se observar en la Figura 1. Esta clase de sistemas necesita un mantenimiento que se realiza de forma periódica cada 20 meses aproximadamente, representando al año un gasto de USD 6,500.00 dólares; las lámparas de vapor de sodio tienen una vida útil de aproximadamente 10 años, tiempo en el que se debe hacer un reemplazo de manera obligatoria.



Figura 1. Lámparas de Vapor de Sodio

Fuente: [El Autor]

Con respecto al área de influencia de la Regeneración Urbana, la energía anual consumida por las luminarias es de aproximadamente 1,089.2 MWh, el costo de cada kWh para

alumbrado público es proporcionado por la Agencia de Regulación y Control de Electricidad - ARCONEL y varía mensualmente, para el presente análisis, se toma el dato de junio de 2018 que corresponde a 0.9730 centavos de dólar americanos, con lo cual se calcula que a la energía indicada anteriormente le corresponde un costo anual de 10,597.00 dólares, [6].

Para el diseño de la nueva red de alumbrado público, la Empresa Eléctrica Regional del Sur S. A. – EERSSA, ha planteado como objetivo fundamental establecer los requisitos y medidas que deben de cumplir los sistemas de iluminación y alumbrado público general, para garantizar:

- Seguridad en las personas, utilizando los niveles y calidad de la energía lumínica, requerida en la actividad visual.
- Eficiencia y ahorro energético.
- Modernización en los sistemas de gestión.
- Preservación del medio ambiente.
- Fijar las condiciones para evitar: accidentes, desperdicio de iluminación, alteraciones en los ciclos naturales en los animales y deslumbramiento.
- Mejorar tiempos de respuesta en la operación y mantenimiento.

Por lo antes mencionado, la nueva red se ha diseñado con luminarias de tecnología LED para de esta manera estar de acuerdo con las tecnologías de vanguardia y la Regulación Nro. ARCONEL 006/18 emitida por la ARCONEL; encajando de este modo en el contexto de las mejoras planificadas con motivo de la Regeneración Urbana que se lleva a cabo, contribuyendo además con el desarrollo sustentable de la ciudad.

La tendencia de las tecnologías vigentes va enfocada a la reducción del consumo energético, por ende, las luminarias antes mencionadas requieren de un sistema de telecontrol que permita controlar y conocer su desempeño, obteniendo de esta manera un ahorro adicional. En el proyecto de Regeneración urbana contractualmente se establece la marca Schröder para la adquisición de las nuevas luminarias LED, por cuanto se considera pertinente trabajar con uno de los sistemas que propone la marca para soluciones de telegestión. *Owlet Nightshift* de Schröder, establece comunicación

mediante radiofrecuencia entre sus nodos para hacer posible la telegestión, cumpliendo de esta manera con lo mencionado en el Anexo 2 presentado por la EERSSA.

4.2 Sistemas de Telemetría y Telegestión para alumbrado público

Un sistema de telemetría nos permite obtener datos sobre el estado de los elementos que son sometidos a control, tales como: su localización, horas de actividad, consumos de potencia, estado de conexión, estado de encendido o apagado, etc. Estos datos sirven para ser analizados, en complemento la telegestión otorga la posibilidad de gestionar algunos parámetros, haciendo posible optimizar el consumo de energía, realizar mantenimiento preventivo, identificar posibles fallos de las luminarias; mejorando de esta manera la calidad del servicio. La telegestión para redes de alumbrado público es un sistema vanguardista que permite crear una red inteligente usando medios guiados o no guiados con la finalidad de tener monitoreo y control en tiempo real sobre las luminarias, [7].

Las funciones del sistema de telegestión en el alumbrado público se traducen en beneficios tanto para los usuarios como para las empresas proveedoras de servicio de alumbrado público, algunas de estos son, [7], [8]:

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

En la reducción de los costos de alumbrado público intervienen: los costos de la infraestructura, operación, mantenimiento; así como los costos de la energía eléctrica. El principal objetivo de un sistema telegestión es propiciar el ahorro energético de hasta un 45% de la energía destinada originalmente a estos servicios, proporcionando un retorno de la inversión a corto plazo, siendo además dicha herramienta, un mecanismo con el que se reducirán los índices de contaminación lumínica y las emisiones de dióxido de carbono a la atmósfera.

Para el diseño del sistema de telegestión existen tecnologías que utilizan medios de comunicación eléctricos o electromagnéticos que sirven para comunicar los módulos colocados en cada una de las lámparas y el centro de control; mientras que para para medios de comunicación eléctricos o guiados existe *Power Line Communication* (PLC) o comunicaciones mediante línea de potencia y para medios que usan el espectro electromagnético denominados no guiados existe una variedad de opciones como que utilizan bandas libres para establecer su comunicación, [8].

4.3 Comunicación mediante líneas de potencia (PLC)

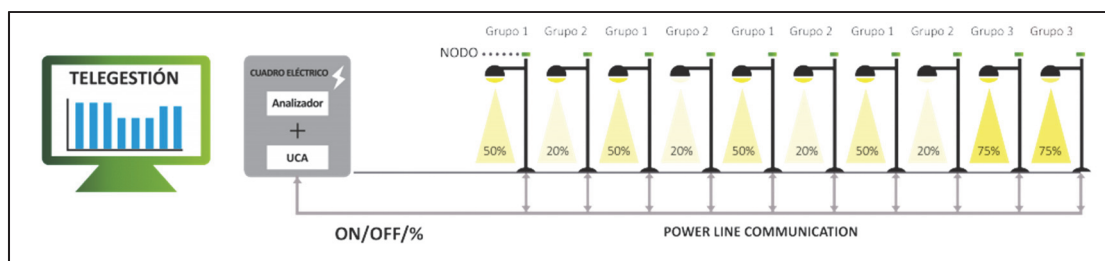


Figura 2. Telegestión por PLC (*Power Line Communication*), [9].

PLC utiliza los cables de alimentación existentes de la red eléctrica en media y baja tensión para el transporte de la información, Figura 2, la ventaja principal de esta tecnología es que no se requiere de la instalación paralela de una nueva red cableada, con esto se ahorra el costo de instalación y se facilita su despliegue, [8].

Para este caso de estudio se descarta la posibilidad de utilizar esta tecnología, en vista de que en la “Memoria técnica soterramiento centro ciudad de Loja”, Anexo 2, se especifica que, “El sistema de alumbrado público adicionalmente estará controlado por medio de telegestión mediante comunicación por radiofrecuencia”.

4.4 Redes de Sensores Inalámbricos - *Wireless Sensor Network* (WSN)

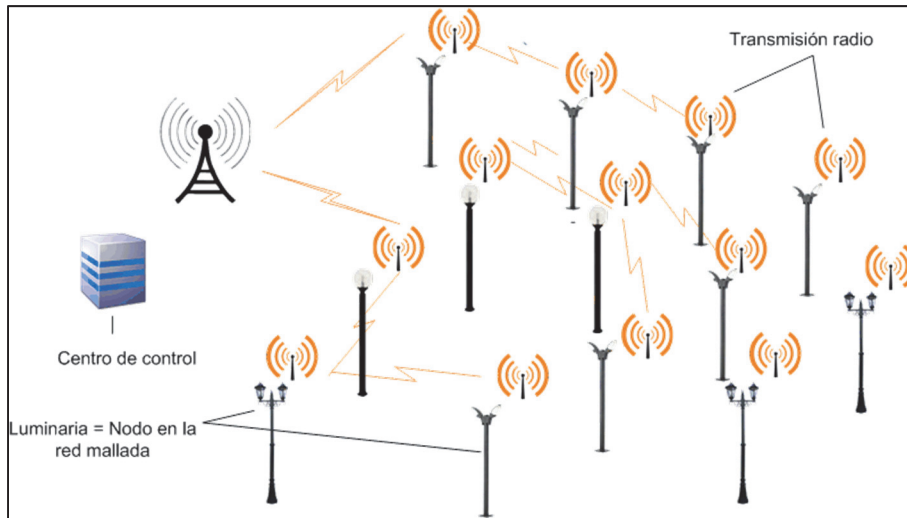


Figura 3. Telegestión de alumbrado público, [10].

Una red de sensores inalámbricos (WSN, por sus siglas en inglés) utiliza sensores para recopilar y enviar datos específicos del entorno mediante dispositivos autónomos distribuidos espacialmente en un área determinada, teniendo como objetivo fundamental detectar y estimar algún evento, sin limitarse a las comunicaciones, Figura 3. Los sensores se eligen según su capacidad para medir datos específicos, para el caso de luminarias se puede medir intensidad eléctrica, iluminación ambiente e identificar presencia o movimiento, ayudando con esto a determinar horarios de dimerización o encendido y apagado de las luminarias, [11].

Las WSN presentan una variedad de características como son su fácil despliegue, bajo costo y fiabilidad que la destacan de otros sistemas usados para monitoreo y control, [8].

4.4.1 Arquitectura de una WSN

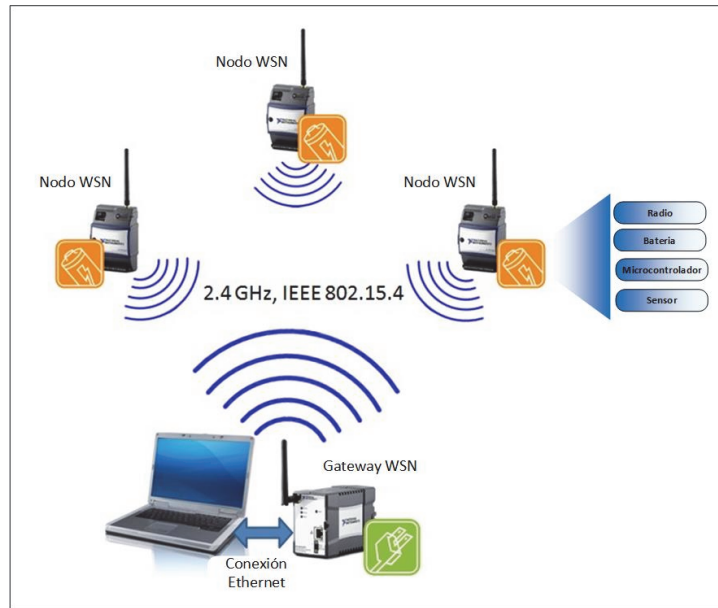


Figura 4. Arquitectura de red WSN, [12].

Dentro de los motivos de implementar este tipo de redes se encuentra la posibilidad que esta presenta de prescindir de los cables, así como su escalabilidad, misma que facilita el despliegue de la red de una manera más sencilla por su naturaleza ad-hoc, por la que además puede soportar miles de nodos. La versatilidad de las WSN permite construir redes ya sea en árbol, estrella o malla, que luego se comunican con un dispositivo que hace la función de pasarela o *gateway* hacia una red cableada, misma que sería la encargada de llevar los datos hacia un servidor en donde la información de todos los nodos es recopilada para ser sujeta a su respectivo análisis o a su vez ser mostrada en tiempo real a través de una interfaz gráfica en un centro de mando, Figura 4, [11].

4.4.2 Redes inalámbricas reconfigurables

La propiedad de una red WSN de ser autoconfigurable, facilita el establecimiento de comunicaciones y organización en una red que requiera el despliegue de una gran cantidad de nodos, considerando que se puede dar el caso de que uno o más nodos fallen, y la idea de una configuración manual de nuevas rutas es poco eficiente, esta característica hace posible que la red sea capaz de reconfigurarse autónomamente de

manera periódica, brindando la posibilidad de que la red siga funcionando haciendo uso de nuevas rutas en caso de ser necesario, [13].

4.4.3 Nodo Sensor

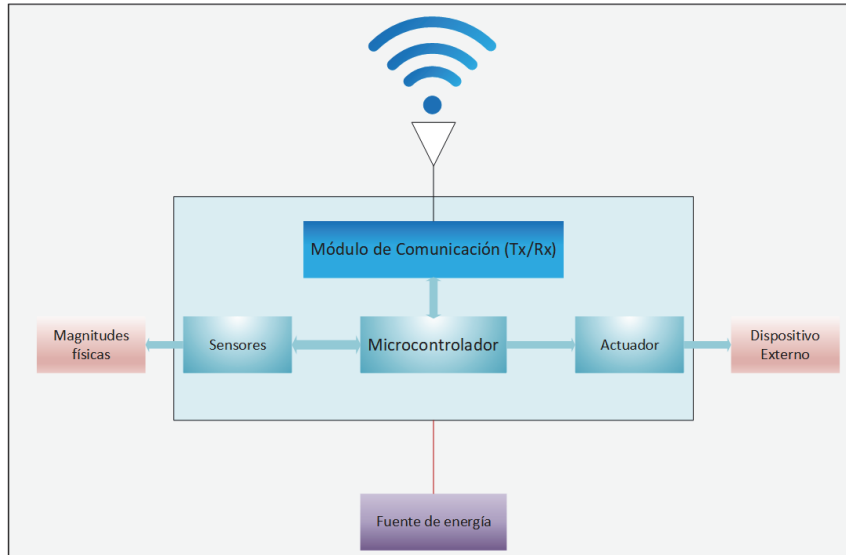


Figura 5. Diagrama de bloques del nodo sensor

Fuente: [El Autor]

Los dispositivos que componen una WSN, son unidades autónomas que constan de uno o más sensores encargados de recopilar datos de magnitudes físicas de manera análoga, estos son seleccionados según los requerimientos de la aplicación, un microcontrolador para interactuar con los sensores para la obtención, procesamiento, digitalización de los datos y posterior envío por medio del módulo de comunicación RF haciendo uso del espectro electromagnético para vincularse a la red y por último la fase de alimentación del dispositivo que hace uso de una batería como respaldo en caso de que se suspenda la alimentación de la red eléctrica, [11].

4.4.4 Propagación de ondas electromagnéticas para la banda de 2.4 GHz en ambientes urbanos

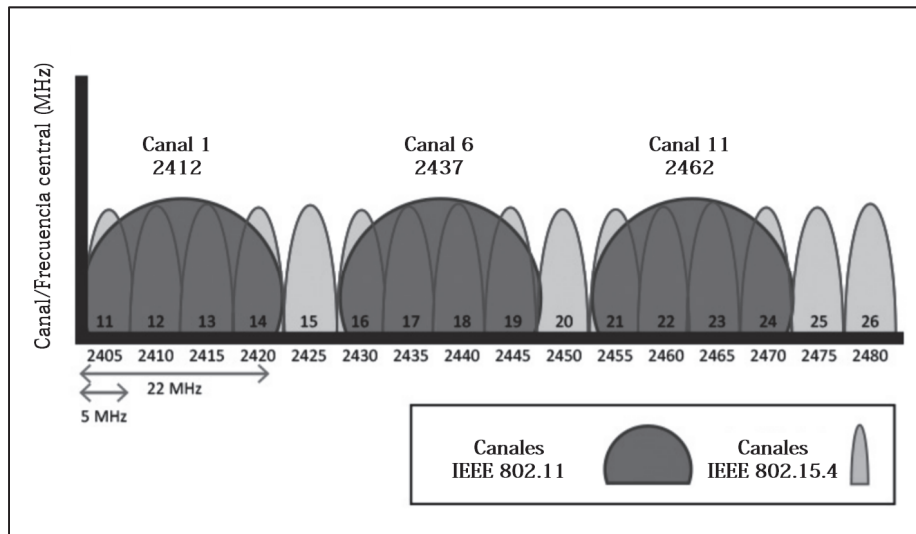


Figura 6. Coexistencia *Wi-Fi* IEEE - 802.11 y *ZigBee* IEEE 802.15.4, [14].

Para establecer la comunicación, las WSN hacen uso del espectro radioeléctrico de las bandas ISM, abiertas a todo el mundo sin licencia, [15].

La propagación de señales electromagnéticas en zonas urbanas se torna un acontecimiento complejo debido a la cantidad de obstáculos que se pueden presentar entre el transmisor y el receptor, mismos que producen efectos negativos en la señal, tales como: refracción, reflexión y dispersión. La banda ISM en los 2.4 GHz da cabida a una variedad de estándares tales como *Bluetooth*, *WiFi*, *Wimax* o *ZigBee*, mismos que engloban innumerables aplicaciones dentro de edificios, industrias, ciudades y el hogar moderno, todas ellas orientadas a establecer comunicaciones haciendo uso del espectro electromagnético, [4].

El uso masivo de la banda de 2.4 GHz motiva a buscar la forma más viable de hacer posible que distintas aplicaciones coexistan en un mismo medio compartiendo el espectro electromagnético. En cuanto a gestión de acceso al medio el uso de (CSMA/CA - *Multiple Access Collision Avoidance*) acceso múltiple por detección de portadora y prevención de colisiones, el mecanismo hace que la MAC le pida a la capa física que haga una evaluación del canal para ver que esté libre, por lo que constituye una potente herramienta usada por 802.15.4 para usar ranuras temporales para hacer el envío de sus

paquetes, del mismo modo considerando que Wi-Fi deja un espacio entre sus canales más usados uno, seis y 11; estos pueden ser ocupados en vista de que dan lugar a tres canales con un ancho de banda de 5MHz, como se puede ver en la Figura 6, [16].

4.4.5 Modelo de propagación

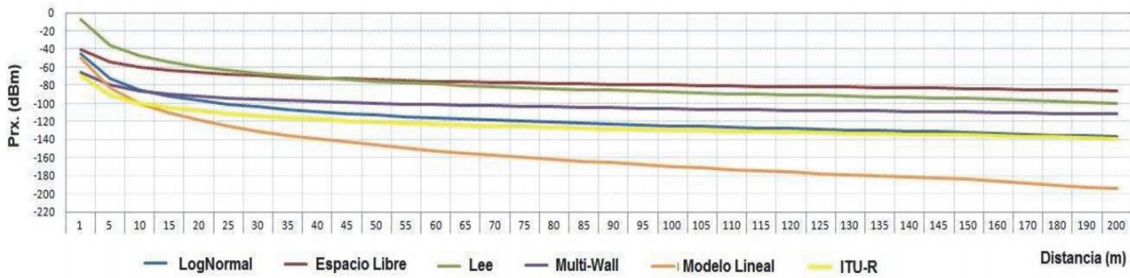


Figura 7. Potencia teórica recibida según distintos modelos de propagación, [17].

Los modelos de propagación utilizados en interiores y exteriores son experimentales, basados en la predicción de las variaciones de distribución espacial de potencia en función de la distancia. En la Figura 7, se puede observar la potencia teórica recibida en el receptor según varios modelos de propagación, creados a partir de un modelo de propagación denominado “Espacio libre”, también presente en la Figura 7, donde los valores de potencia recibidos únicamente varían en función de la frecuencia y la distancia entre transmisor y receptor dado que las ganancias de antenas y las pérdidas por conectores se han fijado con un valor unitario, [17].

Considerando que el modelo empírico COST 231 tiene en cuenta las pérdidas de propagación en espacio abierto, así como las pérdidas introducidas por las paredes, suelos y techos penetrados en el trayecto directo entre transmisor y receptor, es el modelo que nos permitirá obtener una estimación más acertada de la potencia que llegará al receptor luego tener en cuenta todas las pérdidas, [18].

Generalmente COST 231 se utiliza para frecuencias comprendidas entre 1.5 GHz a 2 GHz, aunque también puede funcionar para frecuencias hasta los 3 GHz. Las pérdidas de propagación vienen dadas por, [19]:

$$PL_{dB} = 46,3 + 33,9 \log f - 13,82 \log h_b - ah_m + (44,9 - 6,55 \log h_b \log d + C_m) \text{ Ecuación 1}$$

Donde:

f : frecuencia en MHz.

d : distancia entre las antenas en kilómetros.

h_b : altura de la antena transmisora sobre el nivel del suelo, en metros.

C_m : constante de desviación estándar se define como 0dB para ambientes suburbanos o abiertos y 3dB para los entornos urbanos.

ah_m : parámetro definido para los entornos urbanos.

$$ah_m = 3.20 (\log_{10}(11.75 h_r))^2 - 4.9 \quad \text{Ecuación 2}$$

h_r : es la altura de la antena receptora sobre el nivel del suelo, en metros.

4.4.6 Topología dinámica

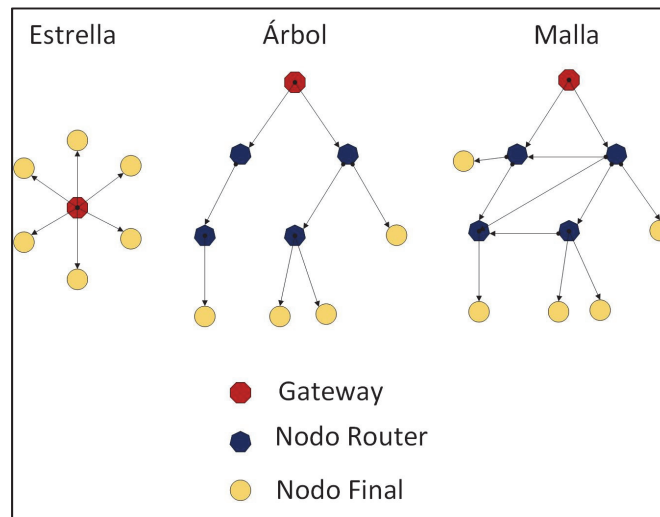


Figura 8. Topologías comunes en WSN.

Fuente: [El Autor].

Las WSN pueden ser diseñadas en una variedad de formas para abordar las distintas prioridades y hacer uso de la tecnología apropiada con base en los requisitos de la aplicación. Entre las diferentes arquitecturas que pueden ser usadas para implementar aplicaciones de WSN se incluyen la topología en estrella, malla y árbol, Figura 8. Las topologías en estrella y árbol se consideran de baja capacidad y poca escalabilidad teniendo en cuenta que al hacer uso de un solo concentrador, los nodos requieren mayor

potencia para poder comunicarse, no así en el caso de una red en malla con la que se puede abarcar un área amplia debido al uso de múltiples saltos, brindando facilidad para agregar más nodos sin necesidad de ajustar la potencia de transmisión; esta topología se destaca por su confiabilidad, versatilidad y robustez, convirtiendo a las WSN en redes autoconfigurables, autoregenerables y de fácil mantenimiento, [8].

4.4.7 Bajo consumo de energía

Una de las características destacadas de las WSN es su bajo consumo de energía, las tecnologías o protocolos existentes en la actualidad, consiguen esto gracias a que se puede planificar periodos en que los nodos finales o esclavos pueden enviar sus respectivos paquetes, de tal manera que únicamente se activa para hacer su respectiva actividad en la red, el resto del tiempo el dispositivo se limitará a funcionar en modo dormido ocupando una mínima cantidad de energía, [20].

4.5 Smart Cities

En la actualidad las tendencias de las innovaciones tecnológicas se enfocan en la creación de sistemas que permitan la interconexión digital, creadas con la finalidad de colaborar con la creación tanto de industrias como de ciudades inteligentes o *Smart Cities*, enfocadas en el ahorro energético, la mejora del medio ambiente y la calidad de vida, haciendo uso de tecnologías orientadas a Internet de las cosas (IoT), que no es más que la interconexión de dispositivos y sistemas para transferir datos a través de internet, con miras a buscar la manera en que la información adquirida pueda servir para obtener una mejora en las operaciones, aumentar la seguridad, protección y productividad, [21].

Para el desarrollo de infraestructuras inteligentes como las WSN se emplean protocolos que utilizan el espectro electromagnético, de preferencia dentro de las bandas ISM, para establecer comunicación entre los miembros de la red. Para el efecto existen varias tecnologías de comunicación que prometen garantizar la cobertura total del área sometida a monitoreo, estableciendo una comunicación robusta y fiable. En la actualidad *ZigBee* es la opción más extendida en este campo, sin embargo; cabe mencionar que nuevos estándares han venido ganando espacio y pueden ser implementados para cumplir con el objetivo de una WSN. *LoraWAN* es un protocolo, que al igual que *ZigBee* posee

características enmarcadas dentro de las necesidades de este proyecto, por tanto, es necesario realizar una comparativa entre estos dos protocolos, [22]:

Tabla 1. Comparativa entre *LoraWAN* y *ZigBee*, [20], [22].

Característica	<i>LoraWAN</i>	<i>ZigBee</i>
Especificación IEEE/Alliance	802.15.4g / <i>Lora Alliance</i>	802.15.4 / <i>ZigBee Alliance</i>
Bandas de Frecuencia (MHZ)	863 - 870	868
	902 - 928	915
	779 - 787	2450
Distancia de cobertura para áreas urbanas (m)	8000	10 -100
El consumo de energía (mA)	0.001-32	3 (reposo) – 30
Técnica de modulación	Modulación <i>LoRa</i> (CSS) FSK	BPSK (868/915 MHz)
		OQPSK (2.4 GHz)
Máxima tasa de datos (kbps)	0.3 – 50	20/40 (868/915 MHz)
		250 (2450 MHz)
Ancho de banda (kHz)	125	5000
Seguridad	AES CCM (128 bits) Encriptación y autenticación	AES CCM (128 bits) Encriptación y autenticación
Topología	Estrella	Árbol, estrella, malla.
Nodos (Capacidad de red)	1 millón de nodos en red	65534
Canales	16 (868 MHz)	16 (2.4 GHz)
	72 (900 MHz)	
Tipo de red	LPWAN (Red de área amplia baja potencia)	LRWPAN (Red de área personal)

En la Tabla 1, se pone en evidencia algunas características que destacan a *LoraWAN* sobre *ZigBee*, sin embargo, hay que tener en consideración que *ZigBee* se ha desarrollado ampliamente y por poseer características como su tasa de transmisión de datos de 250 kbps, el uso de AES (*advanced encryption standard*) como estándar de seguridad, su capacidad de red o el uso de OQPSK (*Offset Quadrature Phase-Shift Keying*) como método de modulación, ha venido ganándose un lugar en el ámbito de las WSN, razón por la cual sus dispositivos se encuentran ampliamente disponibles y optimizados al igual que sus protocolos; estadísticamente se conoce que *ZigBee* ha llegado a demostrar su eficiencia y está siendo aplicado a gran escala; reportes de Hype Cycle presentados por Garner permiten identificar el avance de *ZigBee* ante algunas de las nuevas tecnologías que compiten en el mismo campo de aplicación, Figura 9, en el 2017, *ZigBee* se

encontraba cerca de lograr la meseta de productividad, ya para el 2018 ha alcanzado la madurez y se encuentra comúnmente en las implementaciones de IoT, [23], [24]. Empresas como Schröder o Philips, que poseen más de 100 años de experiencia en la industria del alumbrado público, y que han venido desarrollando diferentes sistemas enmarcados en el concepto iluminación inteligente, consideran a *ZigBee* entre las tecnologías empleadas para el despliegue de sus sistemas de telegestión para luminarias, [25], [26].

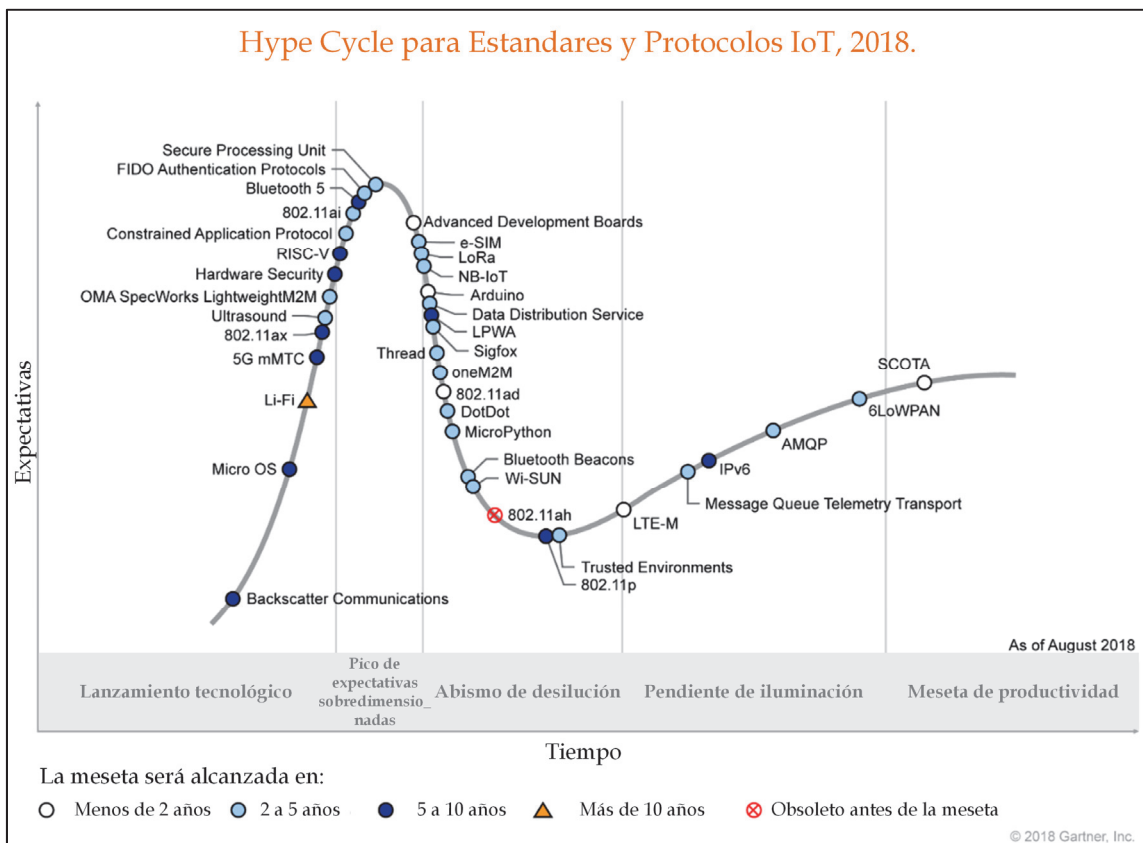


Figura 9. Hype Cycle para estándares y protocolos IoT, Agosto del 2018, [23].

4.6 ZigBee

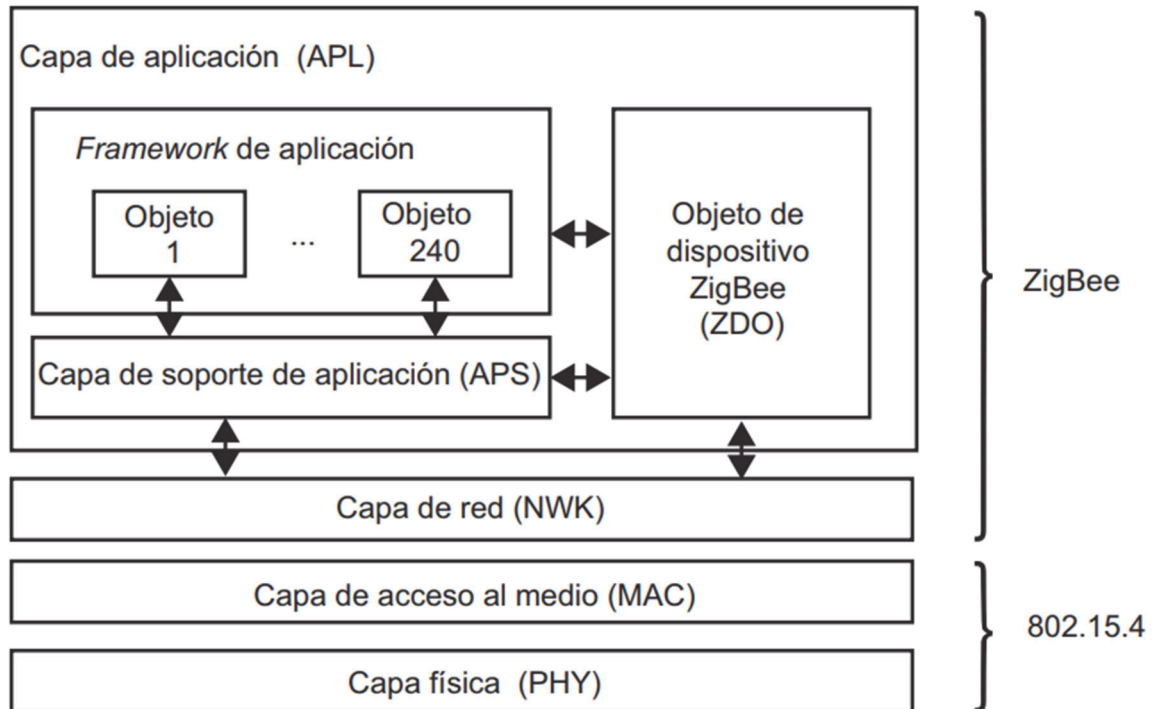


Figura 10. Pila de protocolo *ZigBee*, [27].

ZigBee es el nombre que se le da al conjunto de protocolos de alto nivel de comunicación inalámbrica, Figura 10. Fue creado por la *ZigBee Alliance* en base al estándar IEEE 802.15.4 para dos primeras capas: control de acceso al medio (MAC) y física (PHY). *ZigBee* por su parte proporciona una especificación para las capas de red (NWK) y un *framework* para la capa de aplicación (APL), [26].

Esta pila de protocolos hace posible el despliegue de redes *wireless* de bajo precio, baja tasa de envío de datos y bajo consumo de energía. Básicamente esta tecnología fue creada con la finalidad de ofrecer un estándar de comunicaciones inalámbricas que sea abierto, eficiente, de poco consumo con miras a ser utilizado en sistemas de monitorización y control de dispositivos, [28].

4.6.1 Tipos de Dispositivos

La capa MAC adoptada por *ZigBee*, define dos tipos de dispositivos: los dispositivos de funcionalidad completa (*full-function devices* o FFD), capaces de funcionar como

coordinadores, direccionadores o dispositivos finales, además de la posibilidad de comunicarse con cualquier otro dispositivo de la red y los dispositivos de funcionalidad reducida (*reduced-function devices* o RFD), estos solo pueden actuar como dispositivos finales comunicándose con un único FFD, [27].

Desde el punto de vista de la capa de red de *ZigBee*, existen tres tipos de dispositivos diferentes, [26]:

- Dispositivo final. - puede ser un RFD o un FFD que normalmente actúa como dispositivo simple en donde se conectan los sensores.
- Direccionador. - es un FFD con capacidades de direccionamiento de red
- Coordinador. - dispositivo FFD que coordina toda la red.

Considerando el rol de cada dispositivo de la red, *ZigBee* tiene la posibilidad de estructurar los nodos en tres topologías diferentes: en estrella en donde todos los dispositivos finales se comunican únicamente con el coordinador, en árbol, topología jerárquica, en la que cada dispositivo tiene un único padre excepto el nodo raíz en este caso el dispositivo coordinador y en malla donde cada dispositivo puede intentar comunicarse con cualquier otro dispositivo de la red, ya sea directamente, ya sea por medio de algún dispositivo direccionador. Las rutas entre nodos se crean bajo demanda y pueden ser modificadas dinámicamente, lo que permite a esta topología adaptarse a los cambios de la red, [26].

Existen dos mecanismos de acceso al canal que se implementan en *ZigBee*, redes “con balizas” y “sin balizas”. En una red “sin balizas”, cada dispositivo es autónomo y está dormido el 99.999% del tiempo, estos elementos solo despiertan de forma regular para avisar que siguen en la red o para transmitir alguna alarma. En este caso, el coordinador de red se alimenta de la red principal durante todo el tiempo. En cambio, en una red “con balizas”, se usa una estructura de supertrama para controlar el acceso al canal, esta supertrama es estudiada por el coordinador de red para transmitir “tramas baliza” cada cierto intervalo, entonces los dispositivos que conforman la red escuchan a dicho coordinador durante el "balizamiento", [29].

4.6.2 Seguridad en Dispositivos *ZigBee*

Al ser en una red inalámbrica, los mensajes transmitidos pueden ser recibidos por cualquier dispositivo cercano, incluyendo un intruso el cual podría deshabilitar una alarma o crear algún daño inhabilitando el sistema por medio de ataques maliciosos, ocasionando denegación de servicios (DoS).

La especificación de *ZigBee* proporciona herramientas para garantizar la autenticación, la confidencialidad y la integridad de los datos transmitidos, basándose en el principio de que cada capa es responsable de la seguridad de los mensajes que se originan en ellas. Además, también ofrece herramientas para garantizar el *freshness* o frescor mediante uso de secuencias de refresco, es decir, para asegurar que un atacante no podrá reutilizar paquetes capturados durante una comunicación válida. La especificación de *ZigBee* define la existencia de un dispositivo especial en cada red llamado *trust center*, que goza de la confianza de todos los dispositivos de aquella red, [27].

El centro de confianza puede operar en modo de seguridad estándar en donde únicamente mantiene la clave de red y controla las políticas de admisión de esta. En modo de alta seguridad, el *trust center* debe mantener una lista con todos los dispositivos y todas las claves necesarias para asegurar que se cumplen las políticas de renovación de claves y de admisión en la red. Además, cuando se está operando en este modo, se verifica el frescor de todas las tramas entrantes, y se asegura así que no son tramas duplicadas, [26].

4.6.2.1 Claves

ZigBee utiliza claves simétricas para establecer comunicaciones seguras. La seguridad de las comunicaciones depende de la correcta inicialización e instalación de dichas claves. La arquitectura de seguridad se vale de lo que se conoce como claves maestras (*master keys*) y claves de red (*network keys*) que permiten establecer una clave de enlace (*link key*), [26].

- **Clave de enlace (*link key*).** - clave de 128 bits solo compartida por dos dispositivos que se utiliza para asegurar la comunicación *unicast* entre dos entidades APL. Un dispositivo puede adquirir una clave de enlace utilizando los

servicios de la subcapa APS de transporte de clave o de establecimiento de clave, o bien por medio de la preinstalación de la clave (de fábrica). La clave de enlace también se utiliza para generar claves derivadas para diferentes servicios de la red usando funciones de un solo sentido. De este modo, se consigue utilizar claves independientes para ejecutar diferentes protocolos de seguridad, y se evitan interacciones no deseadas.

- **Clave maestra (*master key*).** - La clave maestra se emplea en el protocolo de establecimiento de claves simétricas (por ejemplo, para generar claves de enlace). Un dispositivo puede adquirir la clave maestra por medio del servicio de transporte de clave, mediante preinstalación o bien a partir de alguna información que proporciona el usuario (como una contraseña, por ejemplo).
- **Clave de red (*network key*).** - Es una clave de 128 bits compartida entre todos los dispositivos de la red que se utiliza tanto para enviar mensajes de broadcast desde la subcapa de aplicación (APS) como para enviar mensajes desde la capa de red (NWK). Un dispositivo debe adquirir una clave de red o bien mediante el servicio de transporte de la clave o bien mediante preinstalación.

La clave de enlace y la clave maestra solo son accesibles desde la subcapa APS, mientras que la clave de red se encuentra disponible tanto desde la capa APL como desde la capa NWK, [26].

4.6.3 Seguridad en la capa de red

Los mensajes *ZigBee* se protegen criptográficamente en la capa de red cuando se originan en esta capa, la Tabla 2, muestra los campos que contiene una trama *ZigBee* de la capa de red. Como se puede apreciar, aparte de las cabeceras propias de cada capa, la capa de red añade una cabecera auxiliar y un campo de integridad, que permiten incluir la información necesaria para gestionar la seguridad del contenido, [26].

Tabla 2. Trama de red, [26].

SYNC	PHY HDR	MAC HDR	NWK HDR	Auxiliary	ENC NWK Payload	MIC
------	---------	---------	---------	-----------	-----------------------	-----

Dentro de la cabecera Auxiliar consta, [26]:

- Campo de control de seguridad. - en donde se especifica el nivel de seguridad ofrecido, pudiendo este estar establecido entre cero y siete en donde cero no especifica seguridad alguna y siete se compone de ENC (*encryption*) - MIC (*message authentication code*) - 128 con cifrado e integridad de tramas. Además, contiene un identificador para el tipo de clave utilizada y un *nonce* (*number user once*) extendida, en donde se indica si se incluye el campo de dirección de origen o si se omite.
- Contador de Tramas. - asegura el frescor y evita el procesado de tramas duplicadas por medio del uso de contadores de 32 bits.
- Dirección de Origen.
- Número de secuencia de la clave.

ZigBee utiliza AES en modo CCM (*counter with cipher block chaining message authentication code*), un modo que combina cifrado y autenticación, de manera que tanto el mensaje cifrado como el valor del campo de integridad son el resultado de aplicar AES-CCM sobre la carga de la trama de red. De este modo, si un atacante observa el tráfico entre dispositivos, no será capaz de leer el contenido, y así se garantizará la confidencialidad de la información transmitida, [26].

Si el nivel de seguridad exige integridad, el campo MIC contiene una etiqueta calculada a partir de la carga de la trama y de la clave, de una manera conocida tanto por el emisor como por el receptor. Cuando el receptor recibe la trama, calculará también el valor MIC a partir del contenido recibido y de la clave que comparte con el emisor. Si durante el transporte del mensaje el contenido de la trama ha sido alterado, entonces el MIC calculado por el receptor será diferente del MIC contenido en la trama, y así se puede detectar que ha habido una modificación del mensaje. Dado que es necesario conocer la clave para calcular el MIC, el atacante que modifique el mensaje tampoco podrá modificar el MIC de forma adecuada, ya que desconoce la clave utilizada. El nivel de seguridad marca la longitud del campo de MIC (0, 32, 64 o 128 bits), que determina la probabilidad de que un valor elegido al azar coincida con el valor correcto de MIC, [26].

Aparte de los datos y de la clave, el modo CCM requiere el uso de un valor de *nonce* para operar. Dada una misma clave, el valor de *nonce* será único para cada mensaje que se envíe. El valor de *nonce* que se utiliza en CCM se construye concatenando los valores del campo de control de seguridad, el contador de trama y la dirección de origen. Se debe considerar que el valor del *nonce* cambia para cada nuevo mensaje mientras se utiliza una misma clave, ya que el contador de tramas se va incrementando. De esta forma, si un atacante captura un paquete y trata de volver a utilizarlo pasado un tiempo, el receptor será capaz de detectarlo, y así garantizará el frescor de los mensajes. Si el atacante no modifica el contador de la trama, entonces el receptor detectará que se trata de una trama antigua. Si, por el contrario, el atacante modifica el contador de la trama, entonces la verificación del MIC no será correcta, y también detectará el ataque. El uso de un *nonce* también garantiza que mensajes con exactamente el mismo contenido en claro sean cifrados como textos diferentes, [26].

4.6.4 Capa de Aplicación

La capa de aplicación es el más alto definido por la especificación y, por tanto, la interfaz efectiva entre el nodo *ZigBee* y sus usuarios. En él se ubican la mayor parte de los componentes definidos por la especificación. La capa de aplicación de *ZigBee* se subdivide en la subcapa APS, la capa ZDO (*ZigBee Device Objects*) y los objetos de aplicación definidos por cada uno de los fabricantes, [20], [30].

4.6.4.1 Estructura de la capa de Aplicación

La subcapa de soporte de aplicación (APS) proporciona un interfaz entre la capa de red (NWK) y la capa de aplicación (APL) a través de un conjunto de servicios que se utilizan junto a los ZDO y otros objetos definidos por los fabricantes. Los servicios los ofrecen dos entidades: la entidad de datos APS (APSD) a través del servicio de punto de acceso APSDE (APSDE-SAP) necesario para la transmisión de datos y el transporte de datos de aplicación entre dos o más dispositivos en la misma red y la entidad gestora del APS (APSME-SAP) a través de un servicio que ofrece el punto de acceso APSE-SAP, necesaria para descubrimiento y enlace de dispositivos, [30].

Dentro de la estructura de aplicación, los objetos envían y reciben datos a través del APSDE-SAP. El control y la gestión de los objetos de aplicación es llevada a cabo por los interfaces de los ZDO, este último encargado de mantener las políticas de seguridad del dispositivo, [20], [30].

4.6.4.2 Seguridad en la capa de aplicación

La subcapa APS se encarga de la seguridad de los mensajes originados en la capa de aplicación, utilizando o bien la clave de enlace (para mensajes *unicast*) o bien la clave de red (para mensajes broadcast).

Al igual que en la capa de red, aparte de las cabeceras de cada capa la capa de aplicación añade una cabecera auxiliar y un campo de integridad, que permite incluir la información necesaria para gestionar la seguridad del contenido, Tabla 3. La creación de la cabecera auxiliar, del campo de integridad y de la carga cifrada sigue el mismo formato que el especificado para la capa de red, manteniendo el uso de AES en el modo CCM y asignando un valor de cero en el campo de *nonce*, [27].

Tabla 3. Trama de la capa de aplicación, [26].

SYNC	PHY HDR	MAC HDR	NWK HDR	APS HDR	Aux HDR	ENC APS Payload	MIC
------	------------	------------	------------	------------	------------	--------------------	-----

4.6.5 Gestión de Seguridad

El servicio de establecimiento de clave permite que dos dispositivos *ZigBee* puedan derivar una clave secreta compartida (una clave de enlace) a partir de una información secreta compartida previamente (la clave maestra). El protocolo de establecimiento de claves se lleva a cabo entre dos dispositivos, uno que inicia el protocolo y otro que responde a la petición de establecimiento de claves. Antes, los dos dispositivos deben compartir algún secreto, que se puede obtener a través del centro de confianza o *trust center* del dispositivo coordinador. Así pues, para establecer una clave, se siguen los siguientes pasos: establecer una relación de confianza, intercambiar datos efímeros, utilizar los datos efímeros para derivar una clave de enlace, confirmar que las claves se han calculado de forma correcta, [26].

Cuando el transporte de clave se hace en modo seguro, se utilizan claves específicas para cifrar los mensajes que transportan las claves. Si la clave que se transporta es una clave maestra, se utiliza la clave para carga de clave (*key-load key*), mientras que para cualquier otra clave se utiliza la clave para transporte de clave (*key-transport key*). Tanto la clave para carga como la de transporte de claves son claves derivadas de la clave de enlace utilizando HMAC (*hash-based message authentication code*), [26].

4.6.5.1 Establecimiento de nueva red

Una nueva red *ZigBee* es establecida por un coordinador. Al inicializarse, el coordinador busca otros coordinadores en sus canales permitidos. Basado en la energía del canal y el número de redes encontradas en sus canales, establece su propia red y selecciona un identificador PAN único de 16 bits. Una vez que la nueva red ha sido establecida, los ruteadores y dispositivos finales son habilitados a unirse a red, [29]. El coordinador *ZigBee* tiene la función de ser el Centro de Validación (Trust Center), a este se le notifica si existen nuevos dispositivos en la red por medio del APSME, puede permitir que el dispositivo permanezca en la red o bien se le fuerce a salir de ella. Si el centro de validación decide permitir que el dispositivo permanezca en la red, debe establecer una clave maestra con el dispositivo a no ser que ya exista una clave maestra previa entre ellos. Una vez intercambiada dicha clave, el centro de validación y el dispositivo ahora negociarán una clave para establecer la conexión. El centro de validación entonces proporciona al dispositivo la clave de red (NWK) para que el dispositivo pueda establecer peticiones al coordinador, [30].

El Router *ZigBee* utiliza el *Channel List* y sus parámetros de configuración para buscar o escanear los canales que se le indiquen para obtener la lista de red con los *Personal Area Network* (PAN) activos en la red. Entonces se realizan varias peticiones de descubrimiento para obtener cuales son realmente los elementos que existen en la red y asociar los enlaces en la capa de red. La aplicación del dispositivo compara el *ChannelList* con la *NetworkList* para seleccionar los PAN existentes que se deben unir. Una vez que se identifica una PAN a la cual unirse, la aplicación del dispositivo debe realizar una petición para asociar la PAN con el canal. Después debe chequear el estado de

verificación de la asociación en el coordinador u otros routers seleccionados en ese PAN, el dispositivo tiene que esperar a que el centro de validación le proporcione la clave maestra y establecer con éste la clave de enlace. Una vez establecido espera a que el centro de validación pase la clave de red. Ahora ya que está autenticado puede funcionar como un router de la red, [30].

Una vez el router esté habilitado, debe utilizar la clave maestra para establecer los procedimientos para la gestión de la clave de enlace (*Link Keys*). El router debe soportar el establecimiento de una clave maestra con el dispositivo remoto y establecer entonces la clave de enlace. El router tiene que poder almacenar y eliminar las claves de enlace para destinos conocidos que requieran que la comunicación sea segura con lo que debe poder recibir las claves del centro de validación, [30].

El dispositivo final realiza un escaneo de las PAN activas en la red, el resultado indica entre otras cosas: el modo de operación de la red, identificación del router o coordinador de la red, capacidad del router o coordinador, coste de enrutamiento, etc. Una vez hecho, debe chequear la asociación con el router o el coordinador *ZigBee* en el PAN. Si la red tiene la seguridad habilitada, el dispositivo tiene que esperar a que el centro de validación negocie primero la clave maestra, seguido de la clave de enlace y finalmente la clave de red (NWK), tras lo que se considerará que estará autenticado y listo para unirse a la red, [30].

4.6.6 Capa Física

Básicamente en esta capa se especifica cómo se transmiten los datos a través del medio físico, controla el transceptor de radiofrecuencia, la intensidad de la señal y realiza la selección de canales, para la banda de 2450 MHz se usa la técnica OQPSK como método de modulación, [31].

En la Figura 11, se puede observar una comparación de la tasa de error de bit (BER) frente al nivel de señal a ruido SNR o E_b/N_0 establecida desde -5 a 30 dB de las modulaciones 64 QAM, OQPSK y 8 PSK, en donde se puede observar que con una modulación 64 QAM necesita un mayor SNR para poder obtener una BER similar a OQPSK, lo que se puede lograr usando una mayor potencia en el transmisor o acortando

la distancia entre el transmisor y receptor; así, para cualquier valor de E_b/N_o , OQPSK produce una BER inferior. Corroborando de esta manera que la modulación utilizada por *ZigBee* es robusta y se proyecta a tener un buen desempeño en ambientes ruidosos y de alta interferencia.

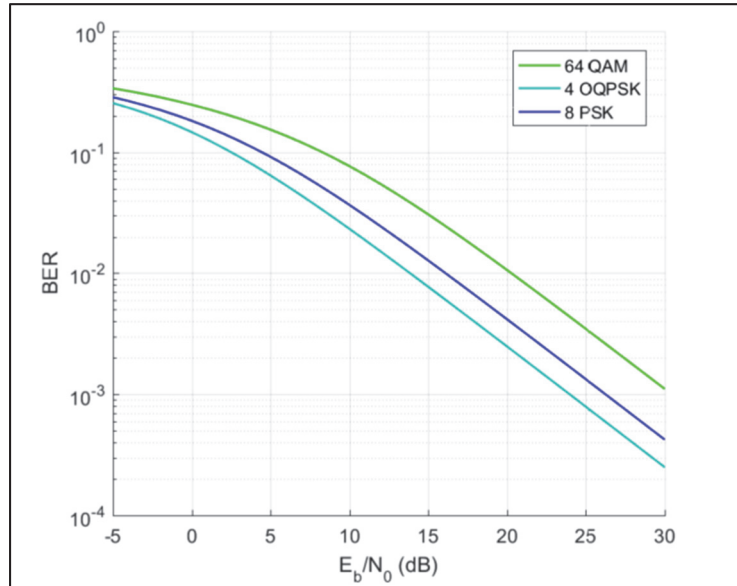


Figura 11. Tasa de error de bit (BER) frente a la densidad espectral de ruido E_b/N_o para 64 QAM, OQPSK Y 8 PSK en un canal *Rayleigh*.

Fuente: [El Autor].

Las zonas densamente pobladas representan un ambiente de alto ruido para las comunicaciones inalámbricas. La tecnología *ZigBee* demuestra un alto grado de robustez en ambientes con ruido elevado o relación señal a ruido baja, tal y como se puede ver en la Figura 11, identificando que *ZigBee* puede trabajar de forma efectiva en condiciones adversas, gracias a las características de su capa física, [25].

4.7 Soluciones para Telegestión

Existen varias empresas dedicadas a la creación de soluciones para Telegestión de luminarias, algunas de gran trayectoria como Philips con Starsense Wireless y Schröder con Owlet Nightshift o relativamente nuevas como Flashnet con inteliLIGHT. Sus años en la industria les han proporcionado la experiencia necesaria para ofertar sus sistemas con muchas garantías, tanto Philips como Schröder están en la capacidad de proveer las luminarias, y proporcionar una solución para telegestión complementando al sistema y

proporcionando las características necesarias para asegurar un manejo eficiente de la energía eléctrica, no así Flashnet quienes se enfocan en la creación de soluciones para telegestión entre otros servicios inteligentes, [26], [32], [33].

A partir de los datos obtenidos mediante un levantamiento de la información en referencia al estado actual del sistema de alumbrado público de la zona del Proyecto de Regeneración urbana de la ciudad Loja, se da a conocer que se ha realizado la adquisición de las luminarias LED con la marca Schröder como proveedor, mismas que llevan incorporado un controlador de luminaria, razón por la cual se procede a continuar con el estudio, basándose en las opciones que Schröder posee para Telegestión.

4.8 Solución Schröder para telegestión en redes de alumbrado público

Los sistemas de alumbrado público convencionales han venido funcionando durante años de una manera ineficiente generando un gasto innecesario para su operación y mantenimiento, considerando que desde el punto de vista energético, el hecho de que la red de alumbrado se mantenga encendida a su máxima potencia durante todo el horario nocturno representa un consumo excesivo de energía y si se analiza desde la perspectiva de calidad de servicio, la demora en la detección y atención de averías repercute gravemente al prestigio de la institución que presta el servicio, [34].

La marca. Schröder ha desarrollado potentes sistemas de telegestión para alumbrado público, tal es el caso *Owlet Nightshift*, mismo que está diseñado para supervisar, controlar, medir y administrar una red de iluminación, [34].




GAMA OWLET / PRESTACIONES		Características																	
		Tamaño de la instalación	Comunicación entre dispositivos	Extensión de la instalación	Integración de terceros	Conectividad a terceros	Astroclock	Constant Light Output (CLO)	Luz a demanda (Sensor de movimiento)	Sensor de luz del día	Regulación fija	Regulación dinámica	Adaptación de perfil de atenuación	Gestión en vivo	Medición del consumo	Gestión de activos	Gestión de alarmas (geolocalización)	Historial/Almac. datos	Informe
		RED	INTERACTIVIDAD				REGULACIÓN				CONTROL				DATOS				
INDEPENDIENTE › Lo mejor para una iluminación inteligente básica 	1 punto de luz	-	✓	-	-	✓	✓	✓	✓	✓	✓	-	-	-	-	-	-	-	-
RED AUTÓNOMA › Lo mejor para zonas de actividad no lineal 	De 2 a 1.000 puntos de iluminación	Inalámbrico	✓	-	-	✓	✓	✓	✓	✓	✓	Remoto (in situ)	-	-	✓	-	-	-	-
RED INTERGESTIONABLE › Lo mejor para toda la instalación de iluminación (carreteras, calles, túneles...) 	De 2 a 100.000 puntos de iluminación	Inalámbrico (con cable en túneles)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	Remoto	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

Figura 12. Soluciones Inteligentes *Owlet* – Schröder, [26].

Básicamente todos los sistemas son creados para cumplir un objetivo primordial mismo que consiste en iluminar solo cuando sea necesario. Para adaptar la iluminación a las necesidades reales, la solución para telegestión creada por la marca incluye sensores, estos miden niveles de luz natural, movimiento o velocidad para proporcionar iluminación únicamente donde y cuando sea necesario, con la finalidad de proporcionar seguridad y bienestar en el espacio público, [26].

Las dos primeras soluciones consisten en sistemas básicos: como es el caso de “Independiente” en donde cada luminaria se comporta independientemente gracias a su propia unidad de control y de “Red Autónoma” en la cual las luminarias se comunican juntas en una red inalámbrica para ofrecer atenuación dinámica de perfil, puede incorporar detección de movimiento mismo que una vez que identifica un movimiento, reemplaza el escenario de atenuación para proporcionar seguridad y comodidad a los usuarios, son ideales para ser usados en áreas peatonales, parques, aparcamientos, almacenes y únicamente en el caso de la segunda opción en campos deportivos, carreteras y calles, [26].

4.8.1 Owlet Nightshift – Interoperable Network (Red interoperable)



Figura 13. Red Interoperable Owlet Nightshift de Schröder, [26].

El sistema constituye una combinación única de tecnologías orientadas al futuro y una interfaz web fácil de usar, Owlet Nightshift ofrece soluciones avanzadas para gestionar una red de iluminación de forma remota desde cualquier lugar del mundo a través de

internet, cada punto de luz se puede controlar de manera individual en cualquier momento y gracias a la comunicación bidireccional, es posible controlar el estado de funcionamiento, el consumo de energía y posibles fallas, [26].

4.8.2 Beneficios

- Rápida recuperación de la inversión o amortización del gasto
- Optimización del mantenimiento
- Flexibilidad y compatibilidad
- Medidas de consumo energético exactas
- Ahorro de energía de hasta 45%
- Mejora la fiabilidad y la seguridad de la red de alumbrado
- Tecnología de vanguardia
- Rápida instalación
- Interfaz fácil de usar

4.8.3 Características

Como se puede observar en el Anexo 7, la red de iluminación se gestiona a través de Internet mediante un navegador web, cada punto de luz individual se puede controlar en cualquier momento de forma segura, en vista de que el sistema usa mecanismos de seguridad de grado bancario para encriptar datos mientras se usan navegadores web estándar, [26].

Los eventos se almacenan en la base de datos con una marca de tiempo exacta y ubicación geográfica, los informes se pueden predefinir o personalizar para enfocarse en la información más relevante, herramienta muy interesante en teniendo en cuenta de que brinda la posibilidad de asociarse fácilmente a sistemas ERP ¹de terceros aumenta las funcionalidades de la red, permitiendo colaborar con suministro de información para la Big data, [26].

¹ “Un sistema integrado de software de gestión empresarial, compuesto por un conjunto de módulos funcionales (logística, finanzas, recursos humanos, etc.), susceptibles de ser adaptados a las necesidades del cliente”, [35].

4.8.4 Elementos

1. Controlador de Luminaria (LuCo)
2. Controlador de Segmento (SeCo)
3. *OWLET* Web-UI/Servidor *Web*

4.8.4.1 Controlador de luminaria (LuCo)



Figura 14. Controlador colocado en el interior de la luminaria, [36].

Para telegestión, al controlador de luminaria se lo denomina “LuCo”, es la opción si se desea instalar el sistema dentro de las luminarias tal y como se puede ver en la Figura 14; parámetros como: corriente, el voltaje y factor de potencia son monitoreados permanentemente y registrados. Un reloj de respaldo astronómico construido en el interior proporciona conmutación después del atardecer/antes del amanecer, incluso cuando los sistemas controladores de segmento del servidor web fallan en operación, [37].

Dentro de la solución propuesta de la marca Schröder existen 2 opciones de controles de luminaria (LuCo) para tener en cuenta:

- LuCo-P7 (controlador de luminaria)

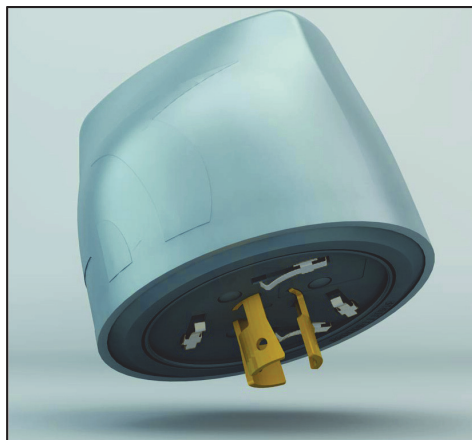


Figura 15. LuCo-P7 (controlador de luminaria), [26].

- LuCo-NXP Controlador y medidor lumínico



Figura 16. LuCo-NXP Controlador y medidor lumínico, [26].

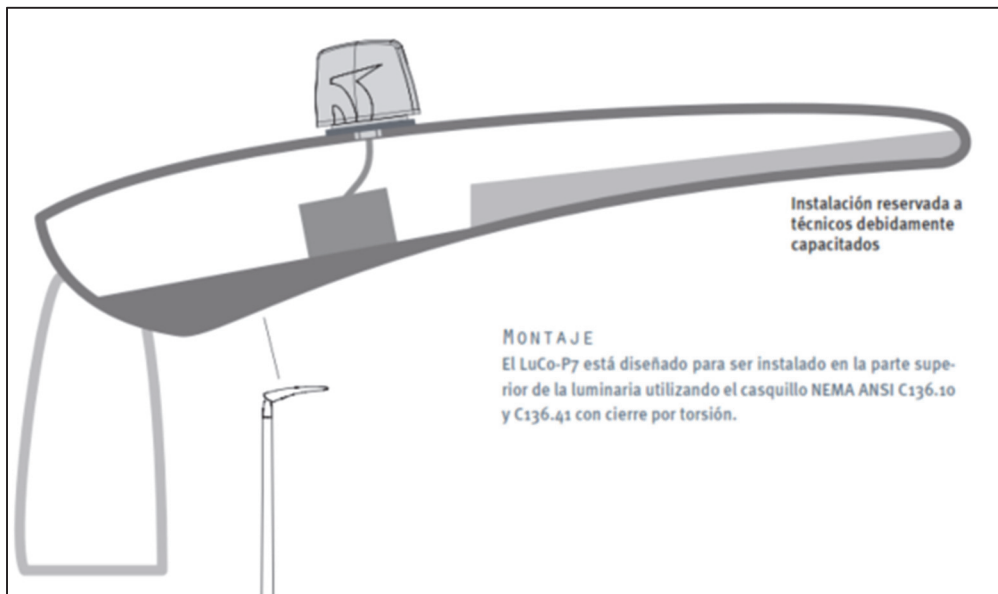
Para identificar características que nos puedan ayudar a elegir el controlador que cumpla con los requerimientos de cada sistema, se han extraído datos de los Anexo 8 y Anexo 9 para elaborar la comparativa presentada en la Tabla 4, [26]:

Tabla 4. Comparativa entre controladores de luminaria LuCo NXP y P7, [26].

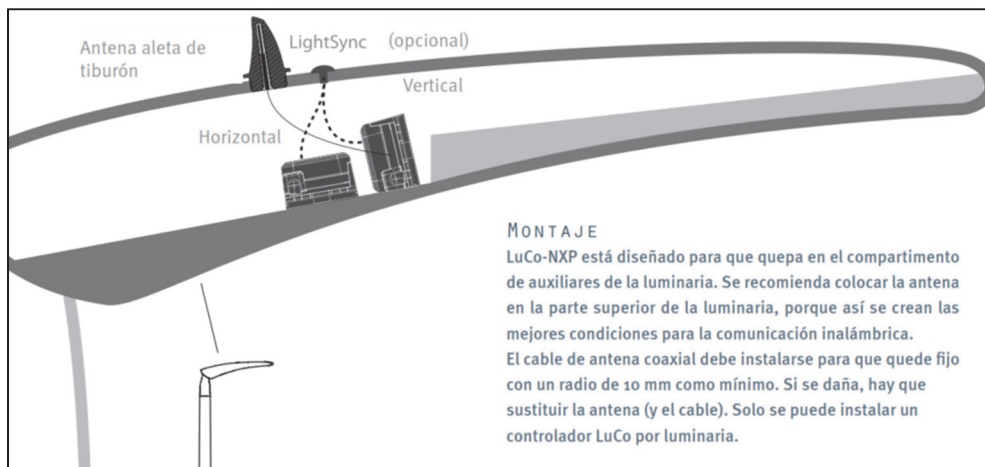
Características	LuCo-NXP	LuCo-P7
Capaz de crear una red en malla.	✓	✓
Recibe los comandos de entrada (comandos de grupo, anulación manual y eventos de detección) procedentes del controlador de segmento SeCo.	✓	✓
Supervisa y controla balastos HID o drivers LED	✓	✓
Módulo GPS integrado – Puesta en marcha automática	-	✓
Fuente de alimentación y entrada de sensor compatible con una amplia gama de sensores de presencia, movimiento o tráfico.	✓	✓
Control de balasto o <i>driver</i> a través de una interfaz DALI o 1-10 V	✓	✓
Medidor de grado industrial	-	-
Detecta la luz ambiente usado para un sistema supletorio de emergencia.	✓	✓
Activar la luz en función de la detección de una amplia variedad de detectores	✓	✓
Capaz de compartir la información del evento a través de la retícula de RF	✓	✓
Supervisa y almacena las características eléctricas del balastro o driver LED	✓	✓
Utiliza un casquillo NEMA estándar con cierre por torsión	-	✓
<i>Función Constant Light Output (CLO)</i> , Algoritmos independientes de ahorro de energía, que compensan las mermas del flujo luminoso que se producen con el transcurso del tiempo.	✓	✓
<i>Función Virtual Power Output (VPO)</i> , regula la potencia en una luminaria, evitando así el exceso de luminosidad.	✓	✓

Existen dos características que distinguen al LuCo NXP del P7: la puesta en marcha de manera automática hace posible que cada nodo se incorpore de manera automática al sistema, la dirección *ZigBee* y la ubicación GPS se detectan automáticamente y se asignan a un controlador de segmento SeCo, lo que no sucede con el controlador NXP mismo que para la representación de un nodo en el mapa y que este pueda ser referenciado individualmente, el controlador de segmento debe conocer la posición geográfica y la

dirección unívoca de *ZigBee*, misma que viene impresa en códigos de barras en el nodo, el escaneo del código de barras se hace luego de la instalación del nodo, [26]. Otra característica que diferencia a estos dos controladores es su forma de instalación, debido a que LuCo P7 utiliza un casquillo NEMA que hace posible su colocación en la parte superior de la luminaria Figura 17.a. Caso contrario del modelo NXP el cual debe ser colocado en la parte interna y conectado por medio de un cable a su antena que se coloca en la parte exterior de la luminaria, Figura 17.b, [26].



a) Montaje de LuCo P7.



b. Montaje de LuCo NXP

Figura 17. Técnica de montaje para controladores de luminaria, [26].

4.8.4.2 Controlador de segmento (SeCo)

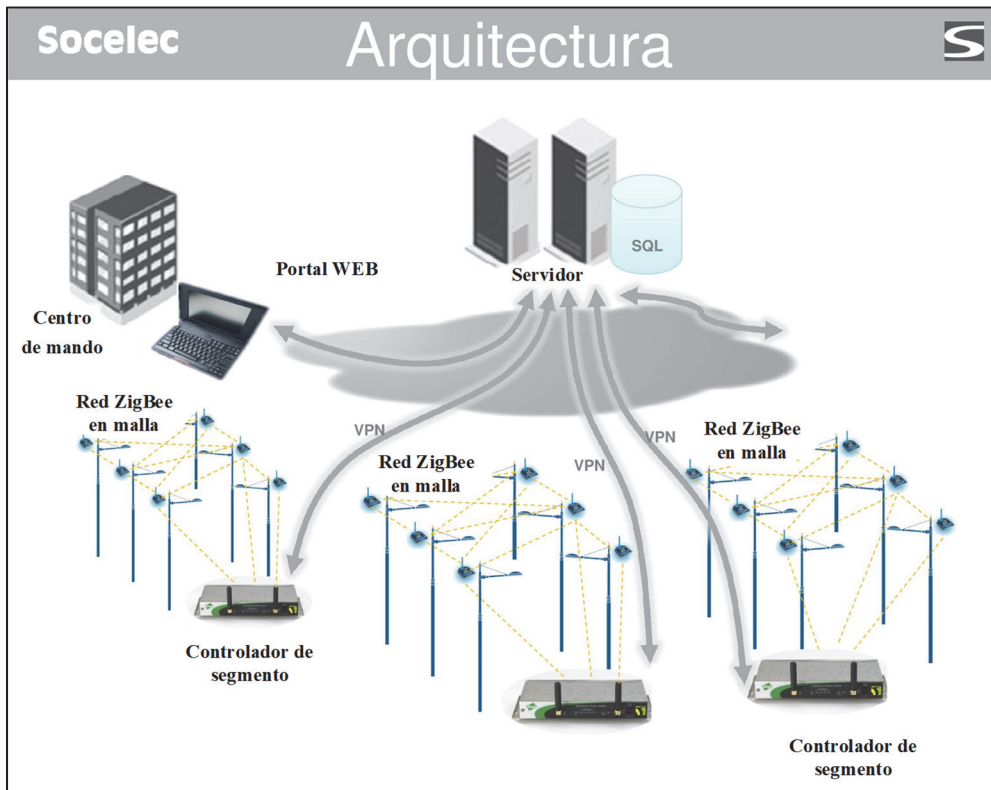


Figura 18. Arquitectura de sistema de telegestión planteado por Schröder, [36].

El controlador de segmento es denominado como “SeCo” dentro de la arquitectura para telegestión que se observa en la Figura 19. El SeCo gestiona un segmento de hasta 150 unidades LuCo, recoge los datos del a través de la red de malla *ZigBee* y lo transmite a través de Internet al servidor web, garantizando la seguridad a través de una VPN. La conexión a Internet se realiza ya sea con el ADSL, GPRS o 3G, Figura 18. Equipado con 2 entradas/salidas digitales y analógicas, así como también de una interfaz de *Modbus* SeCo capaz de adquirir datos desde un medidor de energía hacia todo un segmento para efectos de facturación, también puede enviar y recibir comandos de sensores remotos, es decir; el cambio de alimentación de la iluminación. El controlador de segmento es totalmente programable y se puede personalizar si es necesario. Puede organizar grupos para recibir y ejecutar comandos de interruptor y atenuación, [36].



Figura 19. Controlador de Segmento Schröder, [26].

4.8.4.3 OWLET Web-UI/Servidor Web – Owlet Nightshift

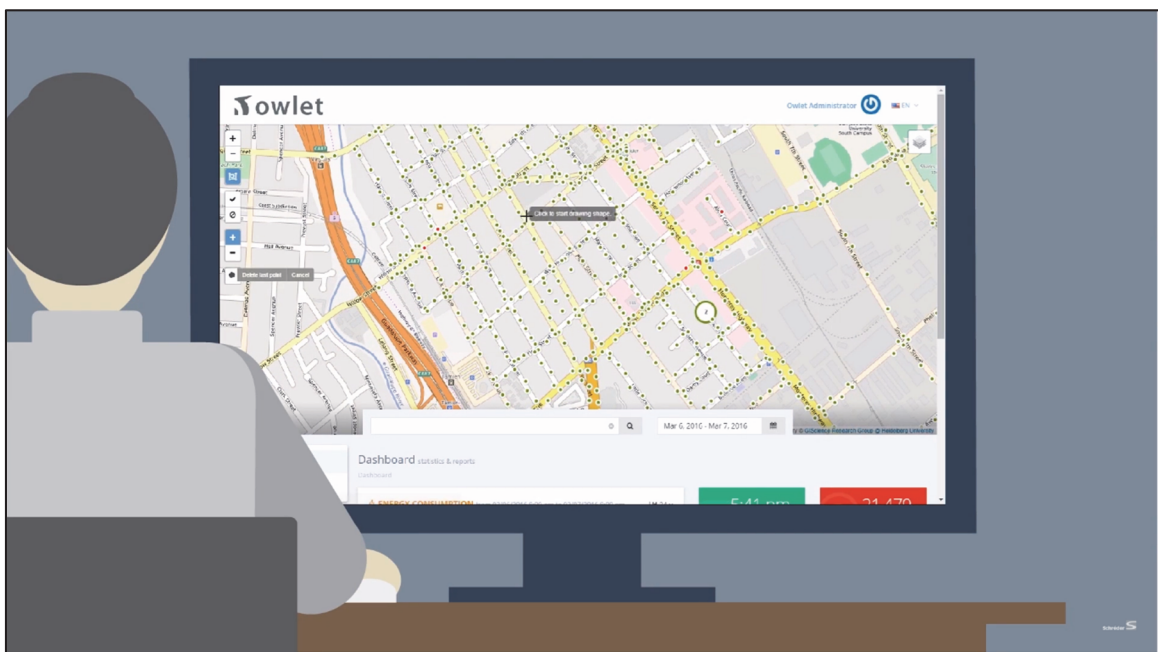


Figura 20. Servidor *Web* – Owlet Nightshift, [38].

Es un software de fácil utilización que monitorea, controla y administra el sistema de iluminación, [36]. Toda la información recibida se almacena en una base de datos MySQL, misma que es ordenada y presentada con el objetivo de que el sistema Owlet Nightshift, se muestre al usuario por medio de una interfaz intuitiva y amigable, [37]. Todos los puntos de luz están georreferenciados y estructurados de acuerdo a una jerarquía: país, ciudad, distrito, calle, lámpara y SeCo, permitiendo con esto especificar y

seleccionar áreas, grupos o puntos de luz individuales. El monitoreo permite ver datos actualizados en cualquier momento, datos como: lampara encendida, apagada o con falla, representados con símbolos en un mapa; detalles como consumo de energía de un punto de luz también pueden ser observados, [38].

Se puede definir los perfiles de atenuación y controlar los puntos de luz automáticamente o de forma manual, un panel de control muestra una descripción general de las fallas, el consumo de energía, el estado de mantenimiento y puede presentarlo a detalle en cualquier período de tiempo. Informes y alarmas pueden ser enviados periódicamente por correo electrónico, o cuando se presente una falla, [38].

4.9 AirView

Encontrar una buena SNR (relación señal/ruido) es muy importante al momento de diseñar redes inalámbricas, parámetros como: potencia de transmisión, ganancia de la antena, distancia y banda de frecuencia, vienen dados según los valores comerciales de los dispositivos a utilizar y el área en donde se va a implementar la nueva red; al tratarse de una zona urbana el espectro limpio no está garantizado por lo que el ruido es un parámetro que se debe considerar para poder planificar la red de una manera correcta, asegurando así un rendimiento óptimo de la red, [40].

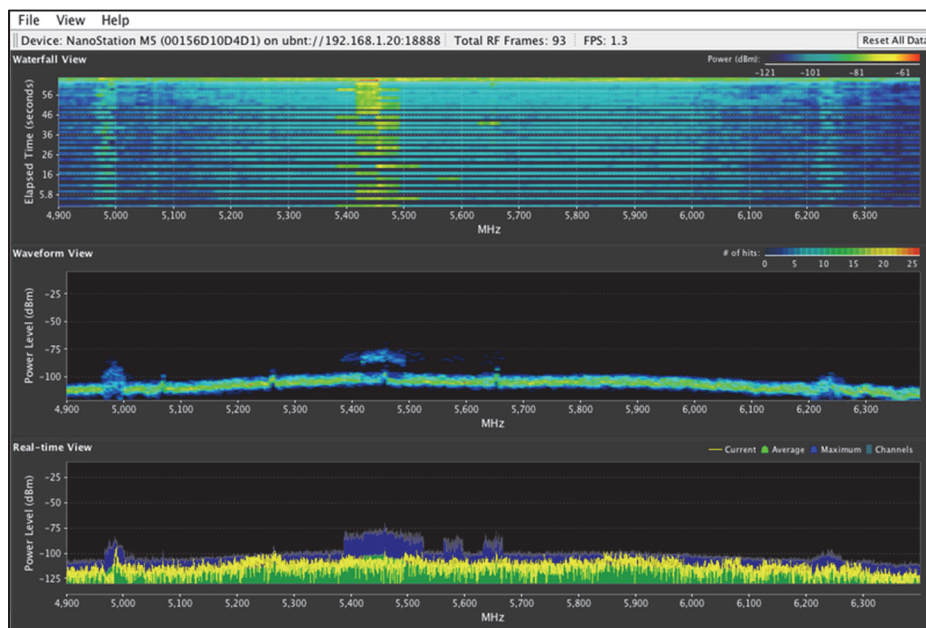


Figura 21. Captura de pantalla de la herramienta AirView de Ubiquiti, [40].

Ubiquiti Networks™ ha incorporado en sus equipos AirMax™ una potente herramienta denominada AirView™ que permite analizar el espectro electromagnético, Figura 21. Para poder acceder a la utilidad AirView en la banda de 2.4GHz se debe disponer de una antena NanoStation LocoM2 conectada a una PC o laptop a través de cable de red y seguir los siguientes pasos, [40]:

1. Inicie sesión en el dispositivo en cuestión ingresando la dirección IP de su dispositivo en la barra de su navegador. Por defecto, la dirección IP es 192.168.1.20.
2. Haga clic en el menú desplegable Herramientas y seleccione AirView.
3. Aparecerá una ventana emergente con una advertencia que indica que “Al iniciar AirView, todas las conexiones inalámbricas se cancelarán mientras se ejecute el programa”. Para culminar, presione el botón “Lanzar airView”. Si no ve esta ventana, asegúrese de tener las ventanas emergentes habilitadas en su navegador y vuelva a intentarlo.
4. Abra y ejecute el archivo airView.jnlp que se ha descargado.
5. Dentro de AirView, Figura 21, verá tres cuadros: Vista de cascada (*Waterfall View*), Vista de uso de canal (*Channel Usage View*), Vista de forma de onda (*Waveform View*) y Real-time View (Vista en tiempo real).
6. Permita que airView recopile suficiente información del espectro por al menos cinco minutos antes de continuar con el análisis.
7. Analizar los gráficos proporcionados.

Es importante conocer que dentro de la “Vista en tiempo real” de la interfaz de AirView se muestra un analizador de espectro tradicional en el que la energía (en dBm) se muestra en tiempo real en función de la frecuencia. Hay tres rastros en esta vista, [40]:

- *Max Hold*: actualiza y mantiene los niveles máximos de potencia en toda la frecuencia desde el inicio de la sesión de airView, representado con una línea azul en el tercer bloque.
- Promedio: muestra la energía promedio en funcionamiento a través de la frecuencia, representada por una onda de color verde.

- Tiempo real: muestra la energía en tiempo real que ve el dispositivo airView en función de la frecuencia, representada por una onda de color azul.

4.10 NetSpot

NetSpot es una herramienta de software para computadora que ayuda a recopilar los detalles de las redes *Wi-Fi* dentro de cierto rango, para luego presentar los datos como una tabla interactiva. Para nuestro caso de estudio un analizador de esta clase sirve para identificar los canales y niveles de potencia de redes *Wi-Fi*, debido a que existen muchas más aplicaciones que utilizan la banda de 2.4 GHz, que no son detectados por esta, la información obtenida únicamente sirve como apoyo, [41].

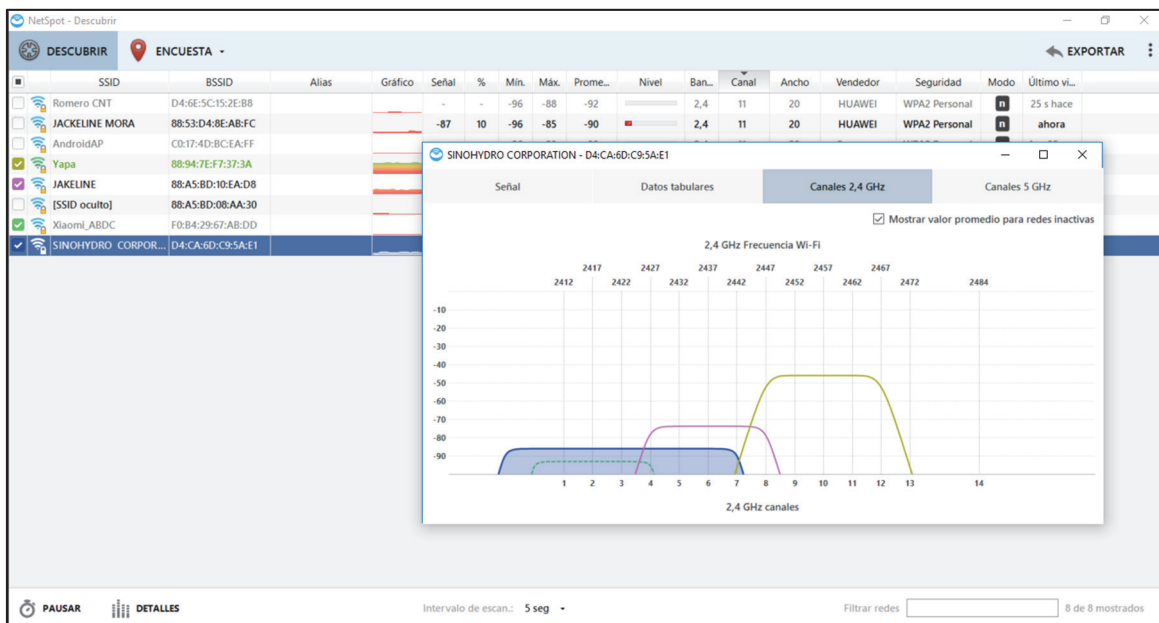


Figura 22. Captura de pantalla – NetSpot

Fuente: [Autor]

4.11 Generalidades sobre Fibra óptica.

El sistema de comunicaciones básico está constituido por tres componentes: un dispositivo foto emisor que convierte los impulsos eléctricos en rayos de luz, un canal óptico por donde viaja la luz y un dispositivo fotodetector de vuelve a transformar la señal luminosa en impulsos eléctricos, Figura 23, [42].

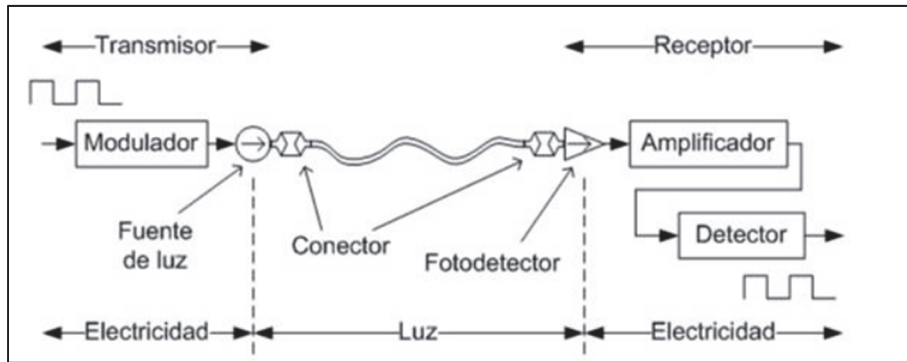


Figura 23. Esquema general de un sistema de comunicaciones ópticas, [42].

La fibra óptica es una guía de onda dieléctrica que opera a frecuencias ópticas, está conformada por un núcleo central que puede ser de vidrio o plástico y un recubrimiento del mismo tipo con un índice de refracción menor al que posee el núcleo. En su forma básica el cable posee cinco partes: núcleo, revestimiento, búfer, material de refuerzo y envoltura, Figura 24. Dentro de la clasificación de la fibra óptica se encuentran: fibra monomodo y multimodo, cuya diferencia radica en el diámetro del núcleo, con un valor de 9 μm para una longitud de onda de 1300 nm y 62.5 μm para una longitud de onda de 1500 nm respectivamente, [43].

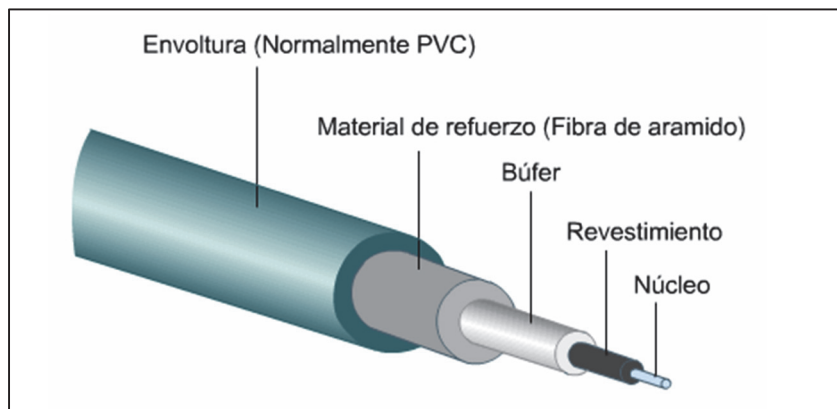


Figura 24. Estructura interna de la fibra óptica, [43].

Para que el sistema de fibra óptica funcione se envía información por medio de rayos luz, para el efecto, los Diodos de Emisión de Luz Infrarroja (LED) o los Emisores de Láser de Superficie de Cavidad Vertical (VCSEL) son dos tipos de fuentes de luz utilizadas normalmente con fibra multimodo, por otro lado en una fibra monomodo se utiliza un láser infrarrojo como fuente de luz; como consecuencia, los rayos de luz que transportan datos en una fibra monomodo son básicamente transmitidos en línea recta directamente

por el centro del núcleo, esto aumenta, en gran medida, tanto la velocidad como la distancia a la que se pueden transmitir los datos, [43].

Algunas ventajas que posee la fibra óptica como: inmunidad ante condiciones adversas de temperatura y humedad, largo alcance sin necesidad de regeneración de la señal, seguridad fácil expansión y que no exista riesgo de interferencias eléctricas o electromagnéticas, la convierten en un medio que puede ser usado en ambientes urbanos con canalizaciones para cableado subterráneo, [43].

4.11.1 Estándar de fibra óptica

El despliegue de una red de fibra óptica en planta externa debe cumplir con la normativa UIT – T G.652D, para enlaces troncales y de acometida. Las fibras construidas en base a la recomendación G.652D, reducen el pico de atenuación Low Water Peak (LWP), operan a longitudes de onda de 1310nm a 1490nm, asegurando una atenuación típica de 0.4 dB/Km y 0.35 dB/Km respectivamente, [44].

Para la comunicación de los equipos activos, se enlazan por medio de fibra óptica, con señales asignadas en diferentes longitudes de onda, para que no se produzcan interferencias entre los contenidos en canal descendente y ascendente; se utilizan dos longitudes de onda diferentes superpuestas utilizando técnicas WDM (Wavelength Division Multiplexing), asignando una longitud de onda de 1310nm para canal ascendente y 1490nm para canal descendente, [45].

4.11.2 Atenuación en el enlace de fibra óptica.

La atenuación teórica de un enlace permite obtener la pérdida o atenuación máxima permitida en una comunicación óptica, permitiendo dimensionar la potencia de transmisión y recepción de los equipos de comunicación. La atenuación teórica de un enlace de fibra óptica se calcula considerando todas las pérdidas que existen en el mismo, el valor de la atenuación se obtiene usando la ecuación (3), [44]:

$$A = \alpha L + \alpha_s x + \alpha_c y + \alpha_r \quad \text{Ecuación 3}$$

En donde:

A: atenuación en (dB)

α : coeficiente de atenuación de la fibra óptica (dB/Km)

L : longitud del enlace (Km)

α_s : atenuación media por empalme (dB)

a_c : atenuación media de los conectores (dB)

x : número de empalmes por enlace

y : número de conectores por enlace

a_r : margen de reserva o seguridad (dB)

4.11.3 Distribuidor de fibra óptica (ODF)

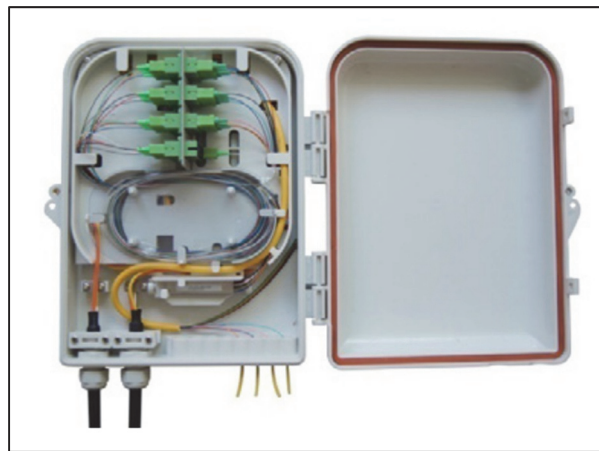


Figura 25. ODF plástico, [46].

Un ODF, Figura 25, es un elemento usado como punto de interconexión entre el cable de fibra óptica proveniente de la planta externa, y los equipos activos. Este elemento de la red suele ser una caja plástica o metálica dependiendo de la aplicación; posee uno o varios puertos de ingreso de cables, un área de patcheo con faceplates y adaptadores, en el cual se conecta la terminación del cable de fibra óptica por el un extremo, y el patch cord hacia el equipo activo por el otro extremo. Dentro del ODF se colocan las bandejas de empalme, en donde se alojan las fusiones entre los hilos de fibra del cable y los pigtails, Figura 26, [44].

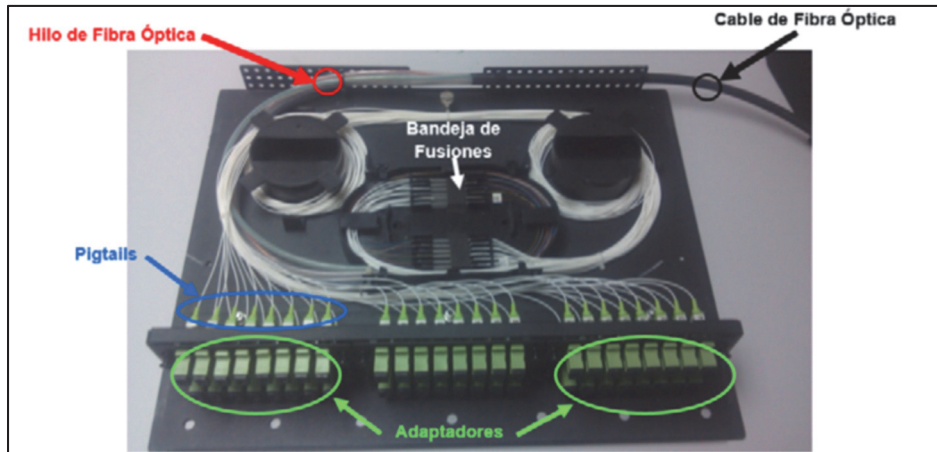


Figura 26. Esquema de fusiones de fibra óptica en un ODF, [43].

4.11.4 Patch Cord



Figura 27. Patch cord de fibra óptica, [44].

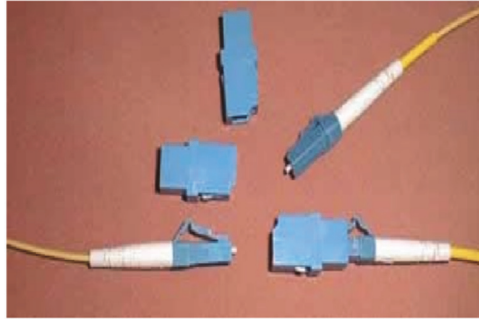
Un Patch Cord, , Figura 27, es un cable cuya función es conectar el ODF con el equipo activo, se constituye por un cable de fibra óptica con una chaqueta de 2 mm y dos conectores en los extremos, [44].

Para seleccionar el mejor Patch Cord a utilizar en las conexiones entre los elementos pasivos y equipos activos, se debe tener en cuenta algunas consideraciones acerca del conector en sus extremos, estas son, [44]:

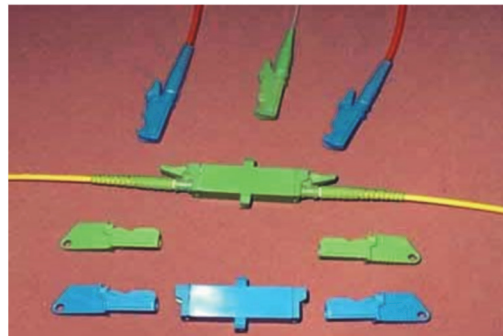
1. Tipo de conector en los extremos del Patch Cord.



- a. Conector SC.



b. Conector LC.



c. Conector Euro 2000.

Figura 28. Tipos de conectores de fibra óptica, [44].

Dentro de los tipos más comunes de conectores se puede encontrar: FC, LC, ST, SC y Euro 2000, de los cuales, FC y ST son conectores metálicos y tanto LC, SC, como Euro 2000 son de material plástico, Figura 28, por lo que son ideales para conectorización en ambientes con riesgos de interferencia y de condiciones ambientales adversas, [44].

2. Pérdida de inserción y de retorno del conector.

Idealmente se desea que la pérdida por inserción sea igual o cercano a cero, minimizando la atenuación del haz de luz propagado. Con respecto a la pérdida por retorno, idealmente se desea que sea infinita para evitar que la señal que retorna ocasione problemas al equipo activo, [44].

3. Tipo de pulido de la férula del conector.

Existen 3 tipos de pulidos: PC, UPC y APC, Figura 29, con las que puede contar los conectores de un Patch Cord. De los cuales se conoce que APC cuenta con el valor más alto de pérdida por retorno constituyéndose en el pulido ideal para ser utilizado, sin

embargo al igual que en el caso del conector hay que tomar en cuenta el tipo de pulido que soporta el puerto de entrada del equipo activo, siendo el pulido UPC el más utilizado por los fabricantes, [44].

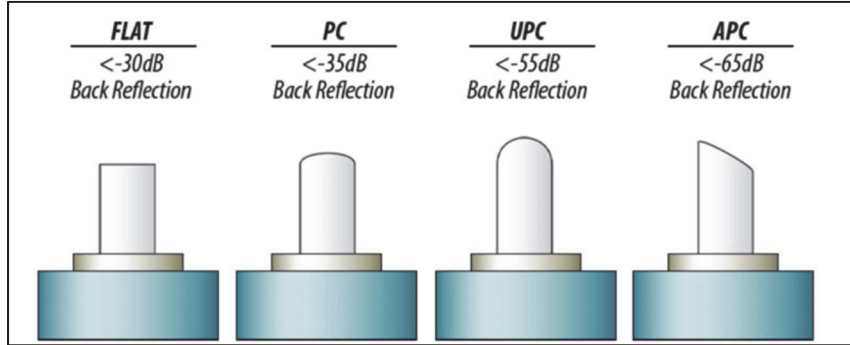


Figura 29. Tipos de Pulido, [44].

En la Tabla 5, se presenta la pérdida de inserción y de retorno típica para cada conector:

Tabla 5. Tabla comparativa de pérdida de inserción y pérdida de retorno, [44].

Conector	Tipo de Pulido	Perdida de Inserción (IL-Insertion Los) (dB)	Perdida de retorno (ORL=Optical ReturnLost) (dB)
FC	PC	0.3	45
	UPC		50
	APC		60
LC	PC	0.2	50
	UPC		55
	APC		65
ST	PC	0.25	45
	UPC		55
	APC		60
SC	PC	0.2	45
	UPC		57
	APC		65
EURO 2000	PC	0.2	45
	UPC		55
	APC		70

4.11.5 Pigtail

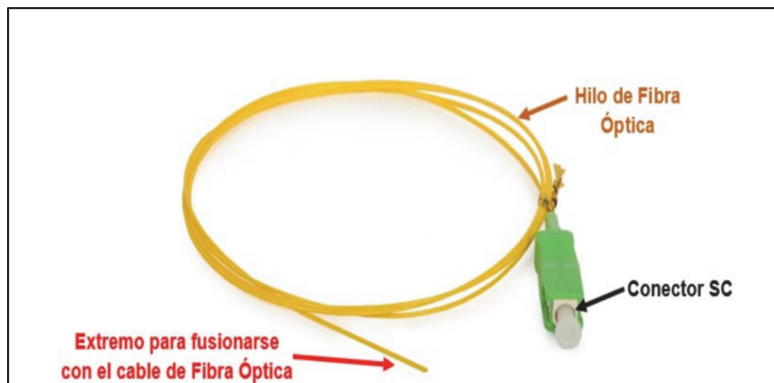


Figura 30. Pigtail de Fibra Óptica, [44].

Un pigtail, Figura 30, es un hilo de fibra óptica con una cubierta de $900\ \mu\text{m}$, cuya función es fusionarse con un hilo del cable de fibra óptica en un extremo, y, conectarse a un adaptador del ODF en el otro extremo, un pigtail cuenta únicamente con un conector en uno de sus extremos, [44].

5. MATERIALES Y MÉTODOS

En el primer apartado de este trabajo se pudo detallar el estado actual del sistema de alumbrado público, dando a conocer que se está trabajando con la marca Schröder en lo que concierne a la migración hacia nuevas lámparas LED, por ende, a continuación se desarrolla un estudio en base a parámetros comerciales de las marcas con las que se viene trabajando en el proyecto de Regeneración Urbana de la ciudad de Loja y datos obtenidos en el área de actuación, que brindan las bases para construir una propuesta para el despliegue de una red de Telegestión.

5.1 Elección de Topología

Las redes con topologías punto multipunto y redes en malla son utilizadas para implementar redes de gestión para alumbrado público. En este apartado se pretende determinar la topología a utilizar para este caso con la ayuda de una simulación en donde se ponga en evidencia el desempeño de las topologías antes mencionadas, [8].

Existen varios simuladores para redes de sensores inalámbricos (WSN) que se han desarrollado de entre los cuales, los más usados son: ns-2, ns-3, OMNET++ y Riverbed Modeler. Se debe tener en cuenta algunos aspectos clave al momento de elegir un simulador: su costo o tipo de licencia, los protocolos admitidos, la escalabilidad de la red, nivel de complejidad y la documentación disponible sobre el mismo. A continuación, la Tabla 6 muestra un resumen de las características más importantes de los 3 simuladores más utilizados para simular redes inalámbricas:

Tabla 6. Comparación entre herramientas de modelado WSN, [47].

Características	NS-2	OMNeT ++	Riverbed Modeler
Licencia	GNU	Académica/Comercial	Académica/Comercial
Escalabilidad a grandes redes (n> 100)	Aceptable (Algunos casos)	Buena	Excelente
Posible cambio de topología de red dinámica	Si	Si	Si
Plataformas de soporte	Linux, Windows, MAC, Unix	Windows, Unix	Windows, Unix
Soporte de enrutamiento y MAC estándar	802.11, 802.15.4, DSDV, DSR, TORA, AODV	802.11, aceptable en (ad hoc routing)	802.11, 802.16, UMTS, SMART MAC, 802.15.4. AODV, DSR, GRP, OLSR, OSPFv3, TORA
Modelado energético estándar (batería / radio)	Básico / TX, RX, inactivo	Básico/ TX, RX, sleep	Básico / TX, idle, sleep
Documentación disponible	Alta	Media	Alta
Desarrollo de Interfaz gráfica	Baja	Media	Alta
Dificultad de manejo	Alto	Alto	Medio

Para realizar la simulación se ha escogido Riverbed Modeler tomando en cuenta que es compatible con 802.15.4 *ZigBee* MAC, ofrece mejor soporte, mantenimiento y modelos de simulación probados.

Las simulaciones se utilizaron para evaluar la carga en MAC, retardo de extremo a extremo, retardo en MAC, tráfico recibido y la capacidad efectiva de transferencia de datos sobre el enlace, resultados que son generados por el DES (simulación de eventos discretos). Estas se limitan a 20 minutos de tráfico para cada caso. Los dispositivos

coordinadores *ZigBee* se establecieron con los ajustes que se muestran en las Tablas 4 y 5.

Tabla 7. Coordinador Enrutamiento en Árbol, [El Autor].

Atributos de coordinador	
ACK Mechanism (MAC)	
Status	Disabled
Transmission bands (Phy)	
2400 Mhz	Enabled
Network Parameters	
Mesh Routing	Disabled

Tabla 8. Coordinador Enrutamiento en Malla, [El Autor].

Atributos de coordinador	
ACK Mechanism (MAC)	
Status	Disabled
Transmission bands (Phy)	
2400 Mhz	Enabled
Network Parameters	
Mesh Routing	Enabled

5.2 Potencia de transmisión

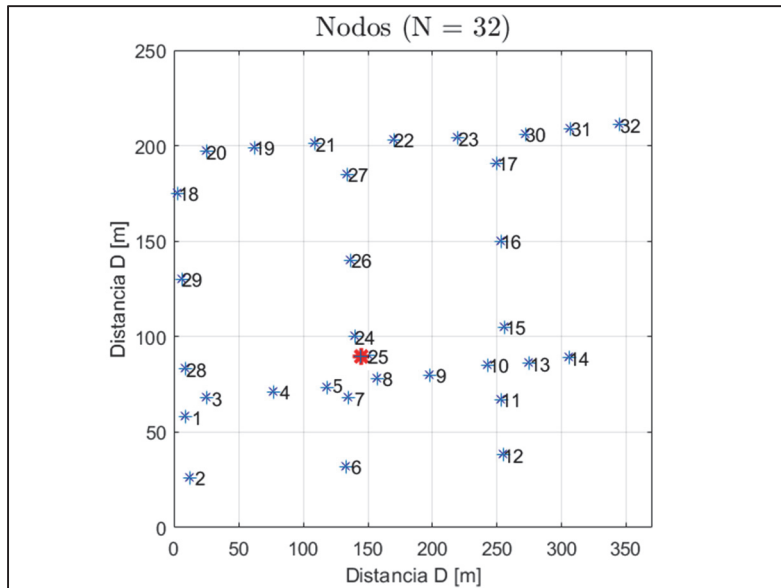


Figura 31. Transcripción de la ubicación geográfica de las luminarias realizada en MATLAB.

Fuente: [El Autor].

Con la finalidad de elegir una potencia de trabajo para los transmisores de cada nodo, se ha elegido una sección del área de estudio correspondiente a las manzanas conformadas por las calles Colón e Imbabura limitadas por las calles Sucre y José Joaquín de Olmedo, como se puede ver en el Anexo 1, para realizar un mapeo de la ubicación geográfica de los postes en donde se colocarán las luminarias, para luego ser transcritas a un script de MATLAB.

En la Figura 31, se puede observar el resultado de la primera etapa del *script* de MATLAB, Anexo 4, en donde se observa la ubicación de los postes. El resultado de este apartado ayudará a identificar posibles obstáculos, rutas y establecimientos de vecinos en la red, para valores de potencia específicos.

5.3 Modelo de propagación

En la revisión bibliográfica menciona a Owllet Nightshift como herramienta de telegestión, misma que está estrechamente ligada con la empresa Digi International, Inc. Proveedor de hardware de conectividad para este sistema, [48].

Cada luminaria inteligente está equipada con una matriz LED de alto rendimiento y un controlador (LuCo) que trae incorporado un módulo Digi XBee *ZigBee*, [49]. En el Anexo 3, se pueden observar los 3 tipos de módulos con los que se puede trabajar, de los cuales se trabajará con el modelo “Digi XBee-Pro S2C *ZigBee*” en vista de que sus características son las apropiadas para esta aplicación, de entre ellas se destacan: su conexión en la banda ISM 2.4 GHz, 16 canales disponibles, alcance de hasta 90m en zonas urbanas, con potencias de hasta 63 mW (+18 dBm) y sensibilidad de recepción de -100 dBm. Haciendo uso de las herramientas de simulación MATLAB y Radio Mobile, se identificará la potencia necesaria para que los módulos XBee puedan tener conexión dentro de nuestro ámbito de estudio.

Para tener una aproximación de la potencia que llega al receptor, se ha realizado el siguiente análisis, para el peor de los casos:

Se estima que entre los nodos existe una distancia de hasta 70m, a esto se suma las pérdidas de propagación estimadas en el modelo de propagación COST 231:

$$PL_{dB} = 46,3 + 33,9 \log f - 13,82 \log h_b - ah_m + (44,9 - 6,55 \log h_b \log d + C_m)$$

Con los siguientes parámetros:

$$f: 2400 \text{ MHz}$$

$$d: 70 \text{ m}$$

$$h_b = 10 \text{ m}$$

$$C_m = 3 \text{ dB}$$

$$h_r = 10 \text{ m}$$

$$ah_m = 3.20 (\log_{10}(11.75 h_r))^2 - 4.9 = 8.7422 \text{ dB}$$

Se plantea de la siguiente forma:

$$PL_{dB} = 46,3 + 33,9 \log(2400) - 13,82 \log 10 - 8,7422 + (44,9 - 6,55 \log 10 \log 70 + 3)$$

$$PL_{dB} = 96.9672 \text{ dB}$$

Entonces, se obtiene la siguiente potencia en la entrada del receptor (P_{rx}):

$$P_{rx} = P_{tx} - PL_{dB}$$

$$P_{rx} = 16.9 - 96.9672 = -80.0672 \text{ dB}$$

Con la potencia de recepción establecida en -80.0672 dB, la señal estaría dentro del rango establecido por el umbral de la recepción del módulo *ZigBee*, además de asegurar la comunicación con un BER cercano a los 10^{-3} de acuerdo con lo establecido en la Figura 11.

Tabla 9. Información geográfica de nodos, [El Autor].

Dispositivo		Ubicación		
Detalle		Latitud	Longitud	Altura de la antena sobre el suelo (m)
Perfil 1	SeCo 3	-3,996186	-79,20309	2070
	Lum_467	-3,996778	-79,20326	2071
Perfil 2	Lum_329	-4,00327	-79,19495	2092
	Lum_910	-4,00341	-79,19547	2100,5

Dentro de Radio Mobile se ingresan las coordenadas correspondientes a dos pares de miembros de la red, entre controladores de segmento y de luminarias, Tabla 9, cuyas ubicaciones han sido extraídas del Anexo 15 y georreferenciados por medio de Google Earth, así mismo en la Tabla 10, se visualiza los datos técnicos tanto del módulo transmisor obtenidos desde el Anexo 3, como de las antenas cuyos parámetros principales se muestran en los Anexo 12 Anexo 13, con la finalidad de obtener información sobre el perfil del posible enlace que se pueda establecer entre los nodos, con la finalidad de tener resultados más precisos, se establece una perdida adicional al tratarse de una ciudad, valor establecido en 45% para nuestro caso de estudio.

Tabla 10. Parámetros establecidos dentro de Radio Mobile. Fuente, [El Autor].

Sección	Sub Sección	Detalle		Valor
Parámetros	Frecuencia	Mínima (MHz)		2400
		Máxima (MHz)		2483
	Modo de variabilidad	Accidental	% Tiempo	50
			% Situación	50
	Pérdidas Adicionales	Ciudad (%)		45
		Bosque (%)		45
Sistemas	Potencia de Transmisor (dBm)			16.9
	Umbral de Recepción (dBm)			-85
	Perdida de Línea (dB)			1
	Tipo de antena			Omni.at
	Ganancia de antena (dBi)			2.1
	Altura de antena (m)			10

5.4 Análisis insitu del espectro electromagnético.

Se ha realizado un levantamiento del espectro en la banda ISM en 2.4 GHz haciendo uso de la herramienta AirView, con el que se espera establecer la manera de que la nueva red *ZigBee* coexista con las redes, tecnologías y equipos que ya se encuentran funcionando en el área, teniendo en cuenta que existen oficinas, edificios residenciales, parques, auditorios y algunos puntos de acceso gratuitos a internet en donde es masivo el uso de aplicaciones Wi-Fi.

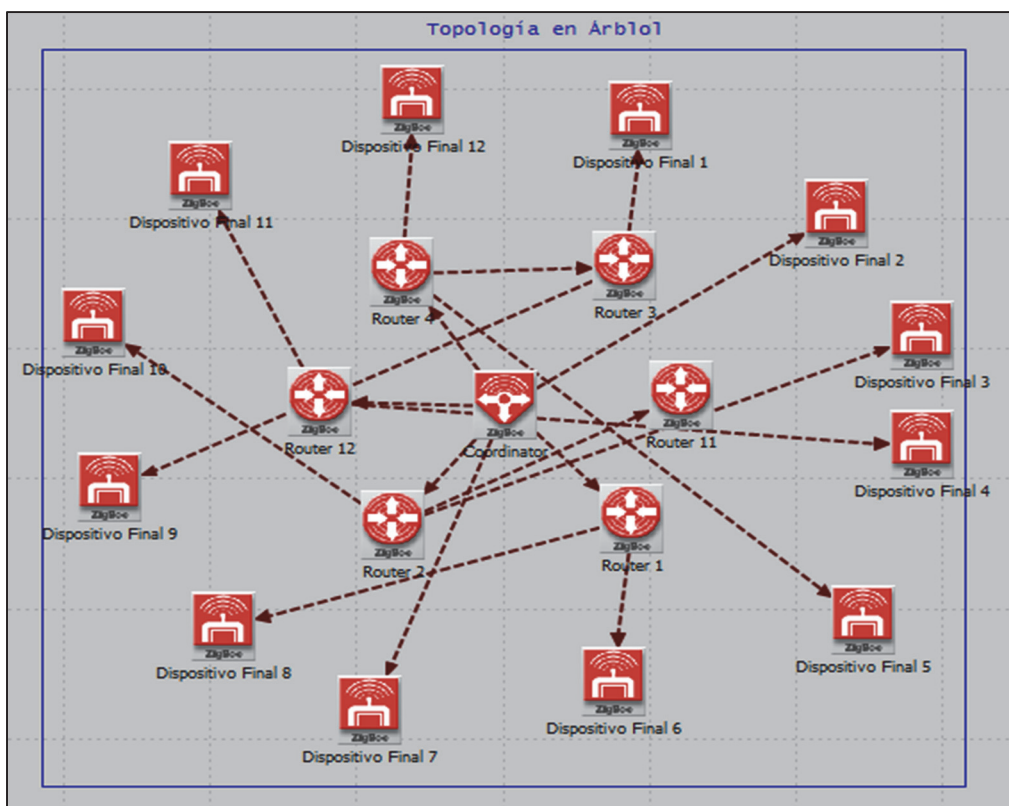
En primera instancia, para la captura insitu del espectro electromagnético se procedió al montaje de una antena “Ubiquiti NanoStation Loco M2”, en un tubo de aluminio, con la

finalidad de lograr una toma de datos colocando la antena a una altura similar en la que se encontrarán los dispositivos LuCo de telecontrol, tal y como se muestra en el Anexo 14, la antena es conectada a una laptop y se procede a la captura de datos hasta lograr obtener una muestra aceptable, de esta manera se realizaron capturas en distintos puntos del casco urbano. Otro método empleado es el de capturar los datos desde un vehículo en movimiento, mismo que se realizó con un montaje similar a menor altura, en un recorrido por toda el área que corresponde al Proyecto de Regeneración Urbana.

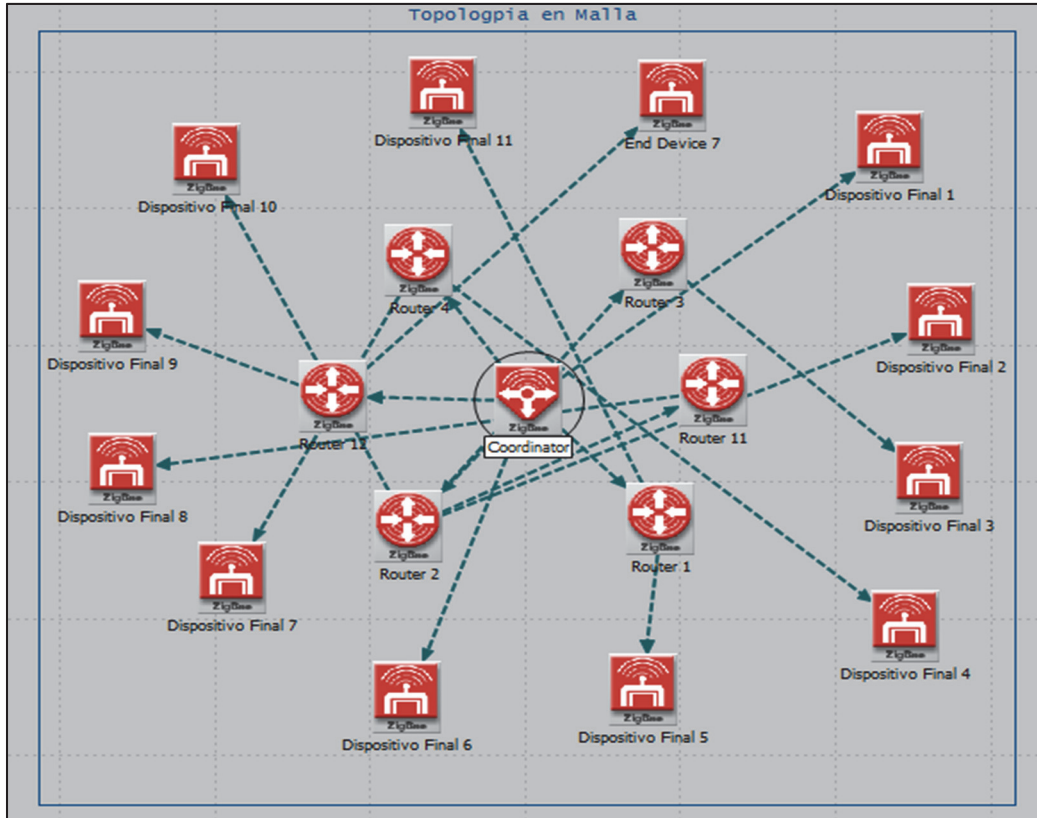
6. RESULTADOS

6.1 Resultados y análisis de la simulación de red

Se construyó una sola red con el objetivo de comparar el desempeño con cada una de las topologías, de las cuales se pudo obtener los resultados de enlaces entre nodos de la red que se observa en la Figura 32, los mismos que fueron capturados a través de la función de informe instantáneo en el programa Riverbed Modeler, el cual indica de qué manera se comunican los nodos en un momento dado.



a) Topología en Árbol.



b) Topología en Malla.

Figura 32. Red construida en Riverbed Modeler con diferentes topologías.

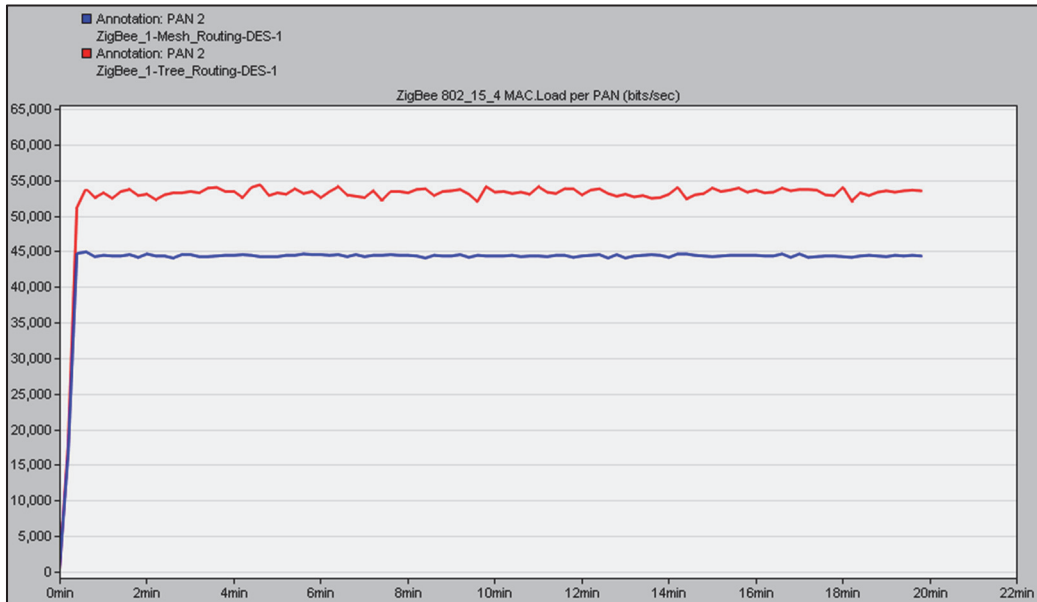


Figura 33. Carga en MAC para las topologías en malla (azul) y árbol (rojo).

De la Figura 33, se define que, la carga para el escenario que utiliza enrutamiento en malla es menor debido a la menor cantidad de saltos para el tráfico, lo que se traduce en menos tráfico general visto en la capa MAC.

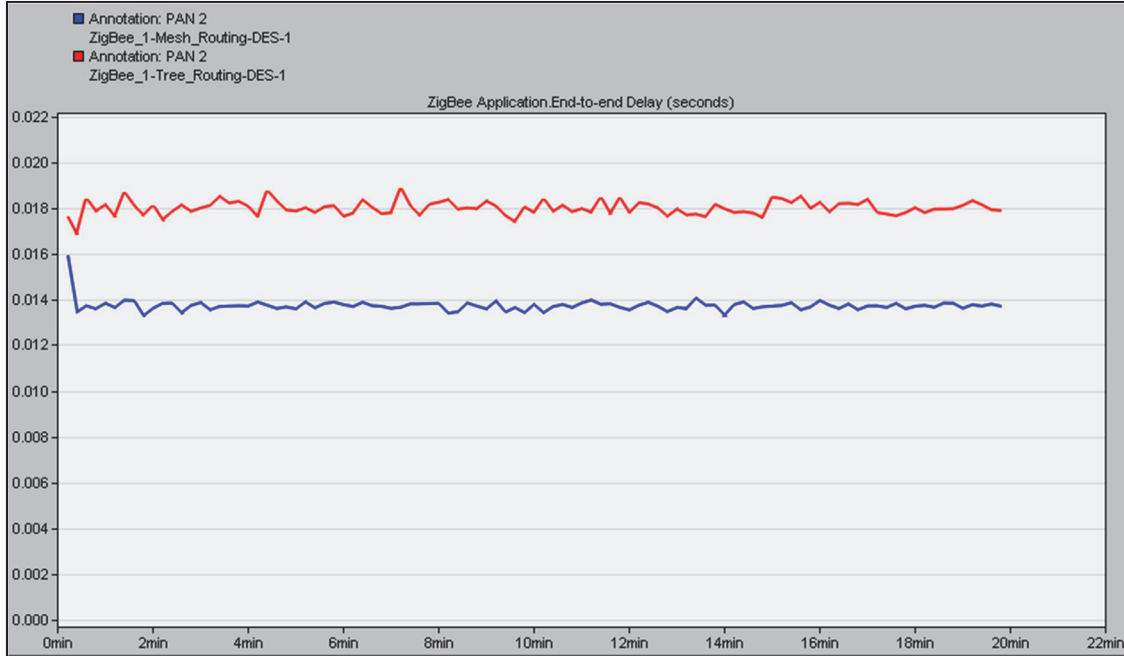
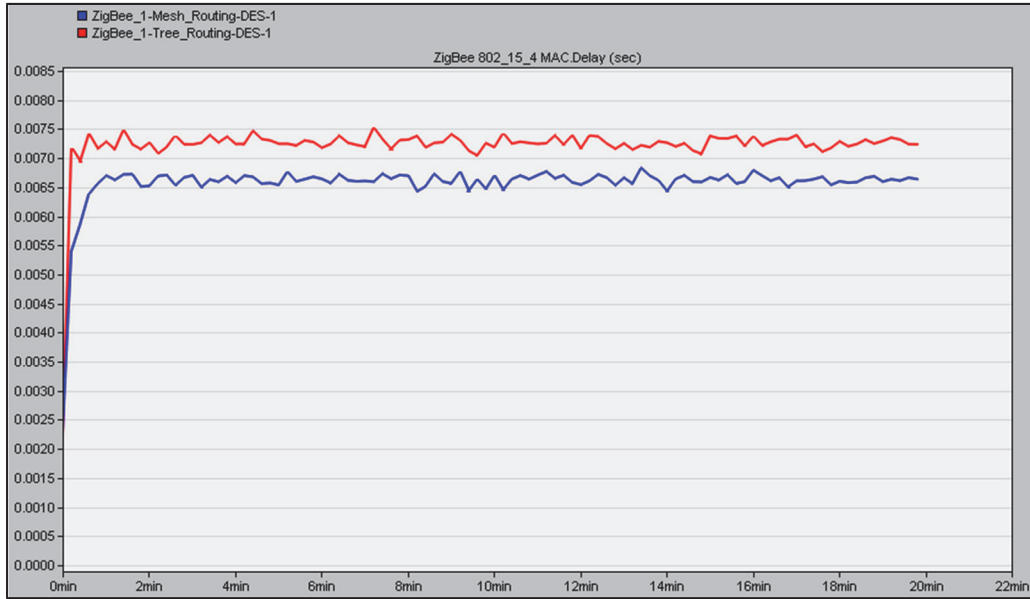
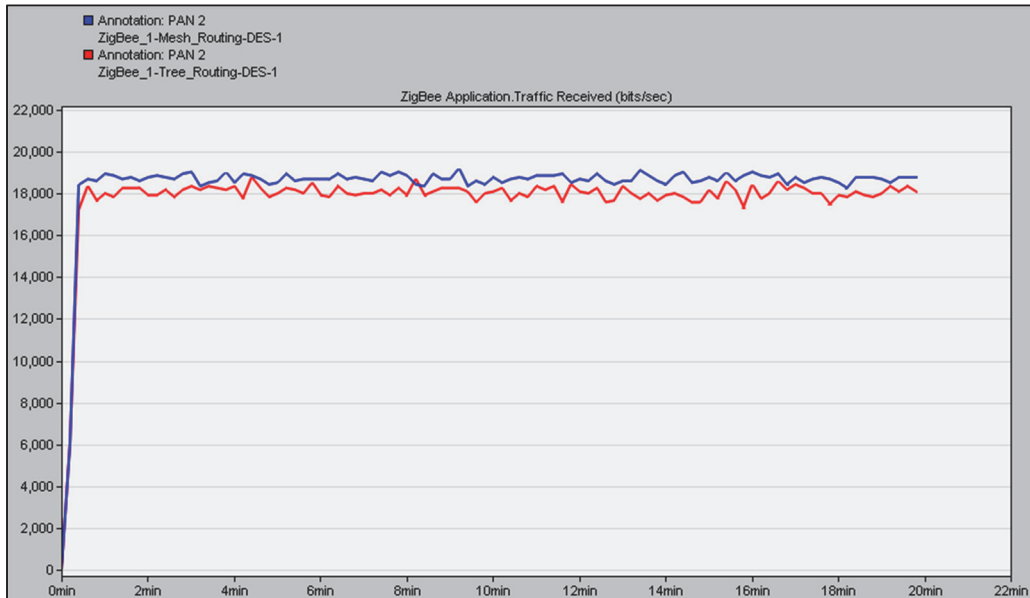


Figura 34. Retardo de extremo a extremo en la capa de aplicación.

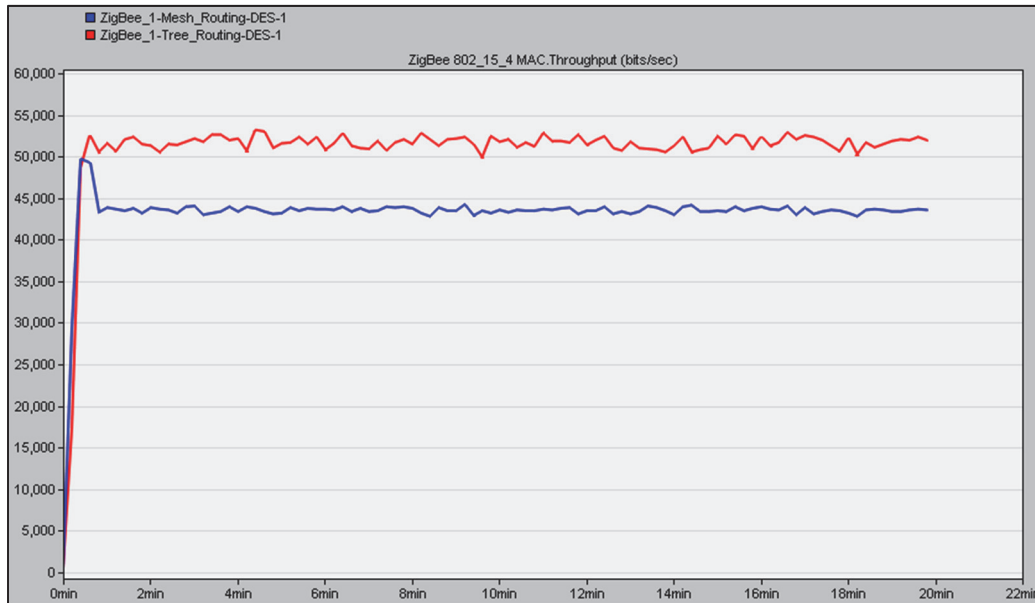
El resultado para retardo de extremo a extremo se observa en la Figura 34, la línea roja indica el retardo de extremo a extremo (ETE) para el escenario que utiliza enrutamiento en árbol mientras que la línea azul indica el retardo ETE para el enrutamiento en malla. El retardo de ETE para enrutamiento en malla es menor debido a que el proceso de enrutamiento de malla encuentra rutas más eficientes que el enrutamiento en árbol.



a) Retardo en la capa MAC



b) Tráfico recibido.



c) Tasa de transferencia efectiva.

Figura 35. Resultados gráficos obtenidos de la comparativa entre topologías de árbol y de estrella.

En la Tabla 11, se presenta un resumen de los resultados obtenidos durante la simulación, donde se puede determinar que con el enrutamiento en malla se obtiene mejores resultados en retardo de extremo a extremo y tráfico recibido a nivel de capa de aplicación, también se obtiene un menor retardo y carga a nivel de MAC, no así en el caso de la tasa efectiva, Figura 35, en donde el enrutamiento en árbol toma ventaja, sin embargo; no existe un margen considerable por el que se pueda decidir optar por este enrutamiento. En base a lo antes expuesto, se determina que la topología en malla debe ser utilizada en esta red.

Tabla 11. Resumen de los resultados de las comparaciones entre las topologías en malla y árbol.

Parámetro	Enrutamiento en malla	Enrutamiento en árbol
Retardo de extremo a extremo (Aplicación) - (segundos)	0.014	0.018
Tráfico recibido (Aplicación) - (bit/sec)	~19	~18
Retardo en (MAC) - (sec)	0.0065-0.0067	0.0070-0.0075
Carga (MAC) - (bit/sec)	45	54
Throughput (MAC) – (bit/sec)	~44	~52

6.2 Resultados y análisis de la simulación de potencia

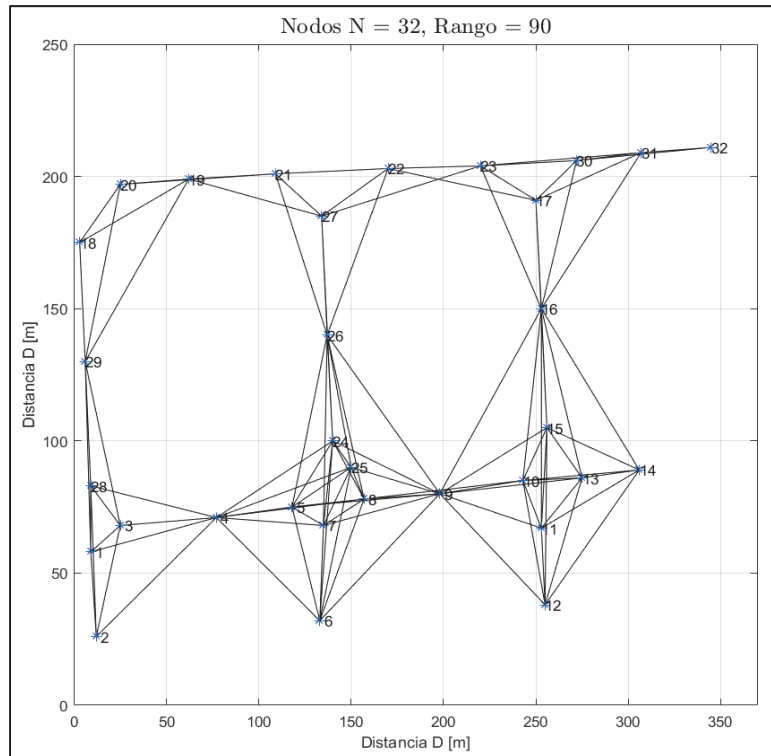


Figura 36. Nodos con cobertura de 90m,

Como se puede observar en la Figura 36, con una cobertura de 90m las conexiones establecidas entre los nodos 9-16 o 29-19 podrían resultar en una comunicación inestable, debido a que atraviesan edificios; por lo tanto, se considera prudente trabajar con una cobertura establecida en 70m, estableciendo los enlaces que se muestran en la Figura 37, en donde a simple vista se logra determinar que la red puede contener todos los nodos y no existe enlaces demasiado largos que puedan ocasionar desvanecimiento de la señal. Para mayor comprensión, en el Anexo 5 se detallan las relaciones y distancias entre los nodos.

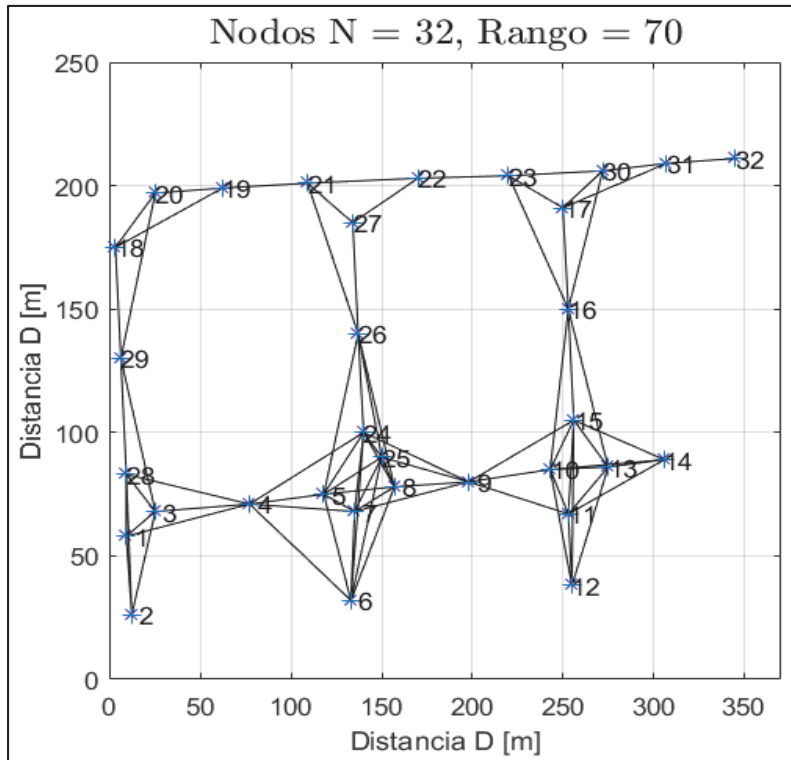


Figura 37. Nodos con cobertura de 70m.

6.3 Resultados y análisis de propagación

6.3.1 Resultados - Perfil 1



Figura 38. Ubicación de puntos para perfil de enlace 1 - extraído de Google Earth.

Para el primer perfil se ha considerado establecer un enlace entre un SeCo y un LuCo, colocados a 70 m aproximadamente, con un índice de 45% pérdidas adicionales por encontrarse en zona urbana.

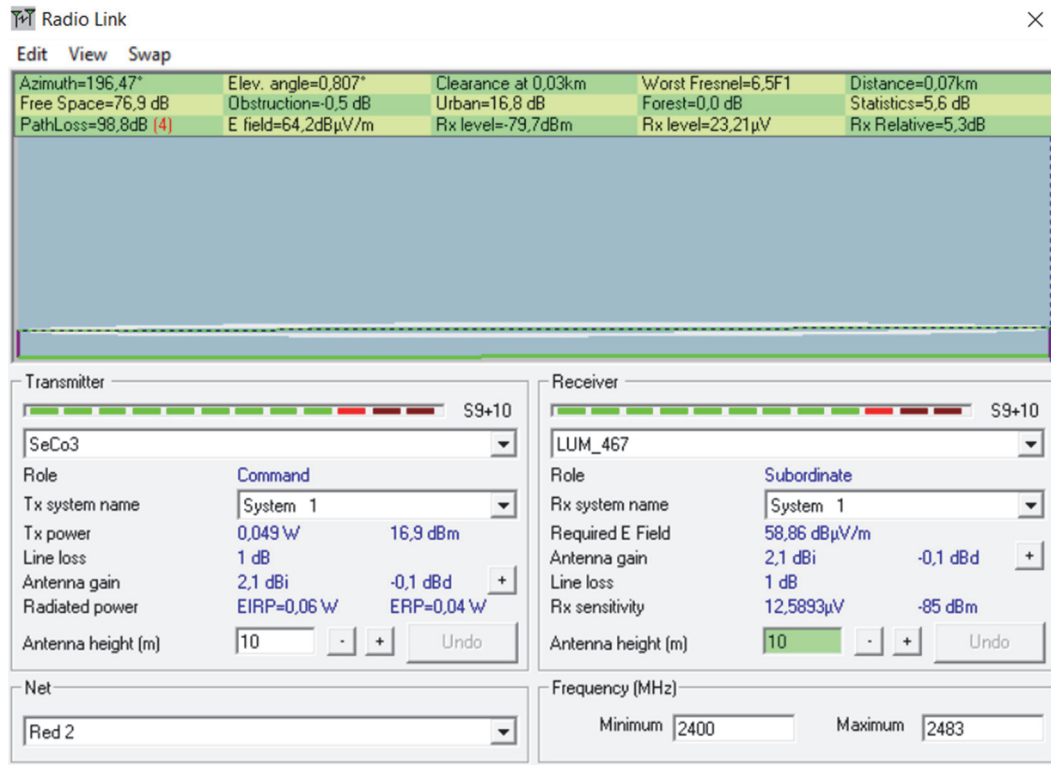


Figura 39. Resultado de perfil de enlace 1 – extraído de Radio Mobile.

Los resultados obtenidos desde el software Radio Mobile para el perfil 1 se muestran en la Figura 39, de la cual se extrae el siguiente resumen:

- Distancia entre SeCo3 y LUM_467 = 0.07 km.
- Ángulo de elevación = 0.8074 °
- La variación de la elevación del terreno es de 1.0 m.
- La pérdida total de propagación es de 98.8 dB, a detalle:
- Espacio libre = 76.9 dB
- Obstrucción = -0.5 dB
- Urbano = 16.8 dB
- Estadísticas = 5.6 dB
- Potencia en Rx= -79.7 dBm

6.3.2 Resultados - Perfil 2

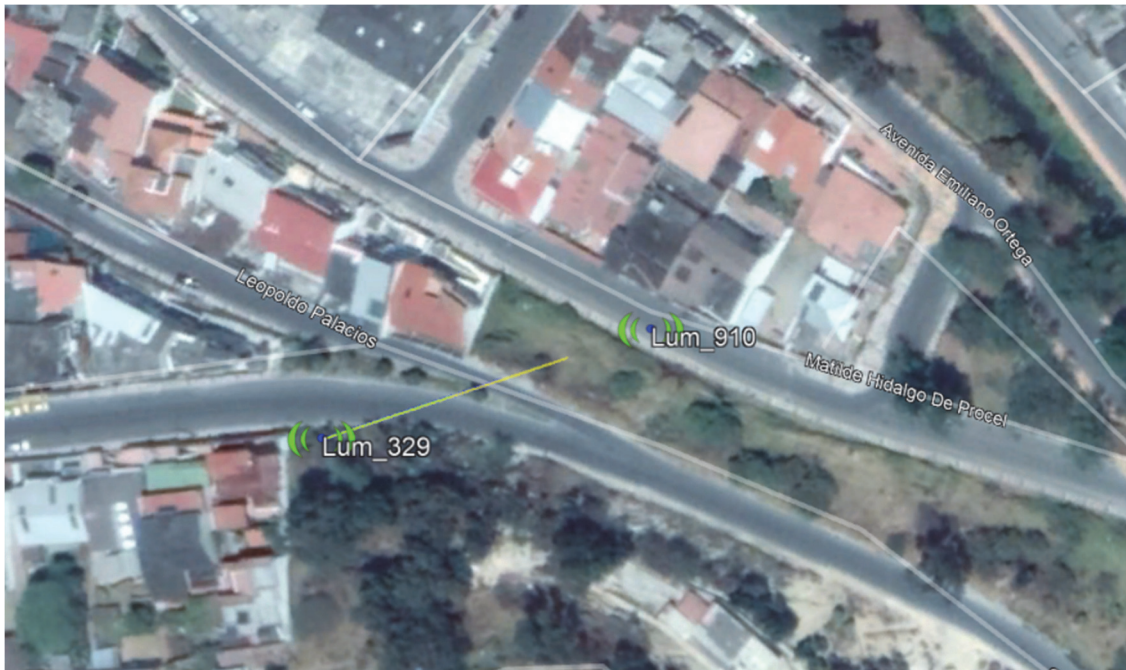


Figura 40. Ubicación de puntos para perfil de enlace 2 - extraído de Google Earth.

Para el segundo perfil se ha considerado establecer un enlace entre dos LuCos, colocados a 70 m aproximadamente, con un índice de 45% de pérdidas adicionales por encontrarse en zona ligeramente boscosa, Figura 40.

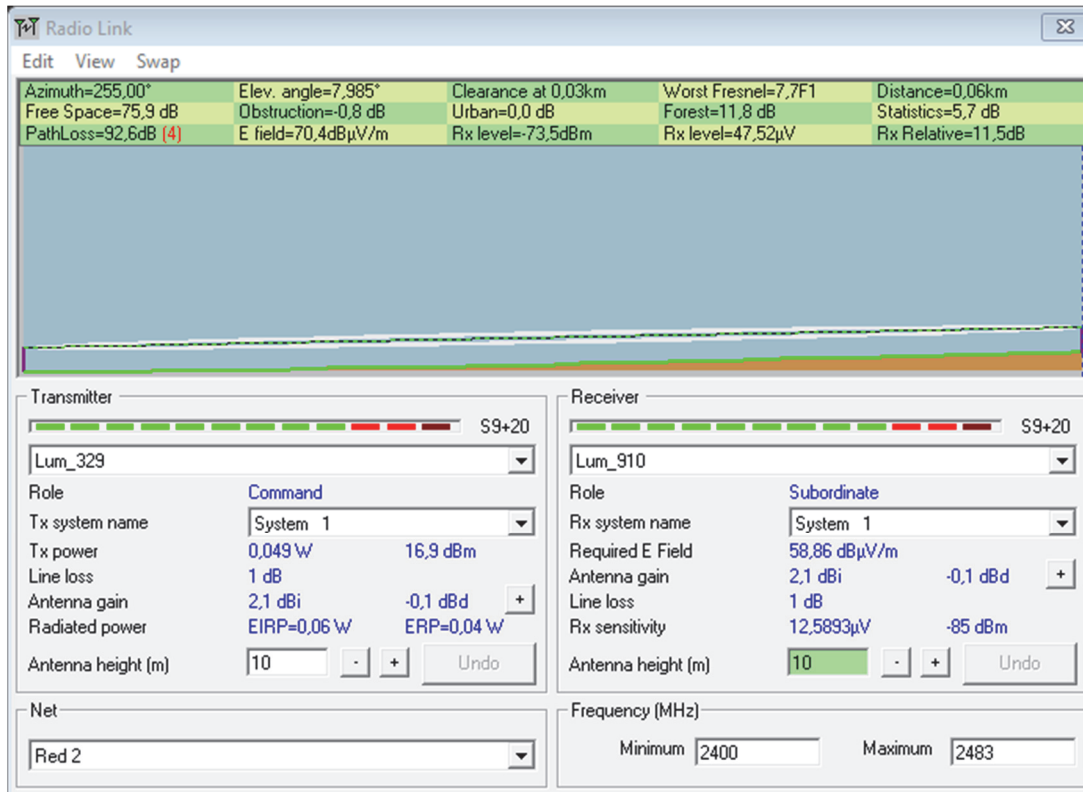


Figura 41. Resultado de perfil de enlace 2 – extraído de Radio Mobile.

Los resultados obtenidos desde el software Radio Mobile se muestran en la Figura 41, de la cual se extrae el siguiente resumen:

- Distancia entre Lum_329 y Lum_910= 0.06 km
- Ángulo de elevación = 7.98 °
- La variación de la elevación del terreno es de 8.5 m.
- La pérdida total de propagación es 92.6 dB, a detalle:
- Espacio libre = 75.9 dB
- Obstrucción = -0.8 dB
- Bosque = 11.8 dB
- Estadísticas = 5.7 dB
- Potencia en Rx= -73.5 dBm

De manera más general, haciendo uso del modelo de propagación COST 231 utilizado en MATLAB, Anexo 6, se tiene como resultado las pérdidas por trayectoria en distancias de hasta 100 m, como se puede observar en la Figura 42.

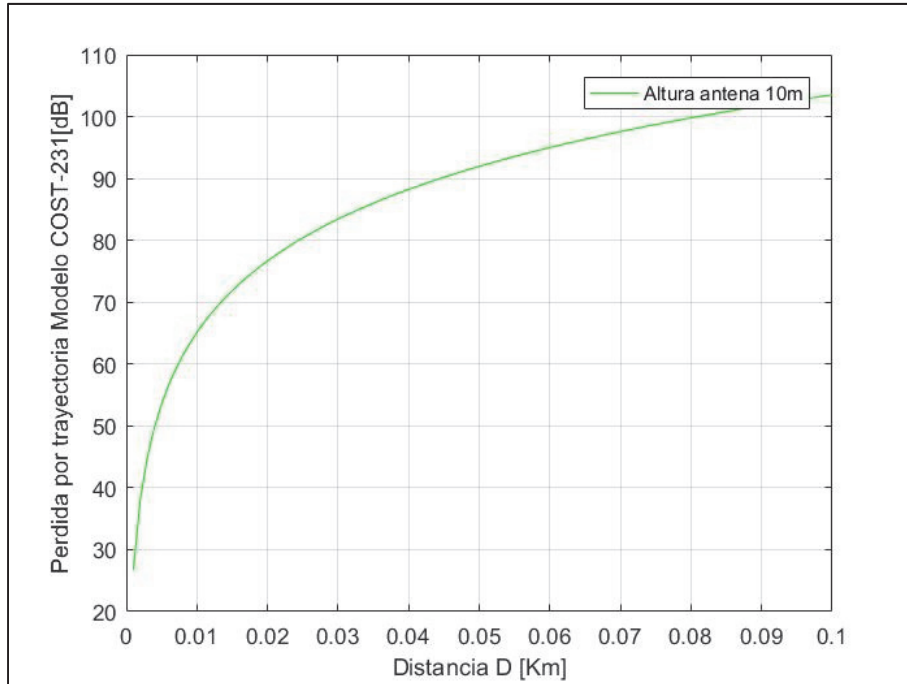


Figura 42. Perdidas por trayectoria usando el modelo COST 231.

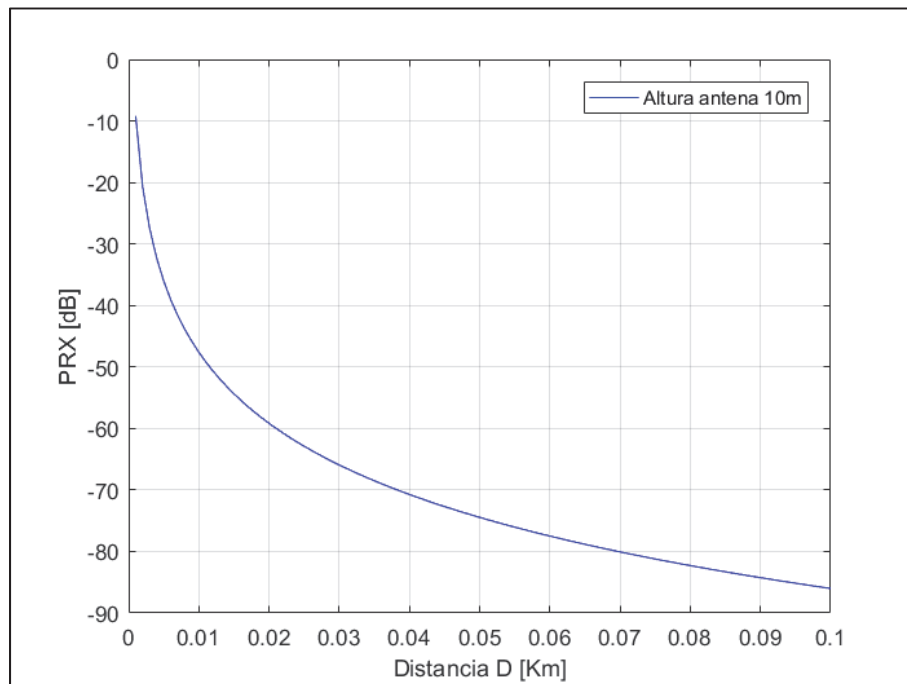


Figura 43. Potencia en el receptor.

Se determinó que con una potencia de 49mW (16.9 dB) como máximo en el transmisor, en la entrada del receptor se tendrá el nivel de señal que se refleja en la Figura 43, consiguiendo una potencia en el receptor $P_{rx} = -80.0672$ dB (aproximadamente) en su máximo alcance de 70m, situación que se debe tener en cuenta considerando que si un

conjunto de luminarias llegara a fallar, puede existir un enlace entre nodos que se encuentren con esta separación.

6.3.3 Selección de canal

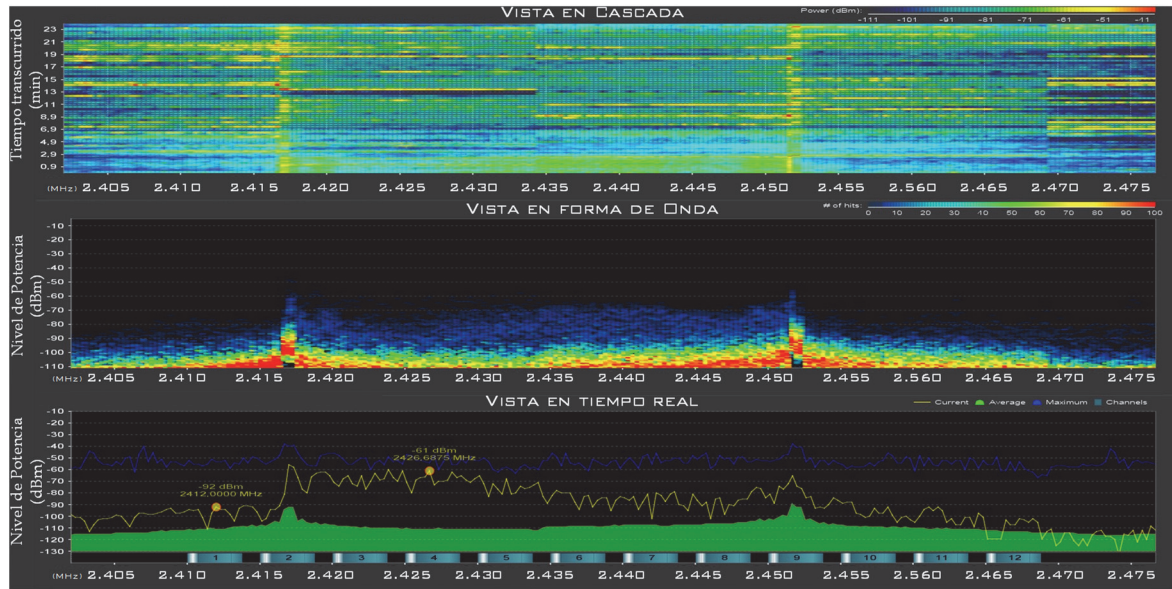


Figura 44. Barrido espectral en la banda de 2.4 GHz en el área del Proyecto de Regeneración Urbana de la ciudad de Loja.

En primer lugar, se analiza los resultados capturados en la zona de estudio desde un vehículo en movimiento, con lo que se obtuvo la muestra que se puede observar en la Figura 44.

De la captura de datos se puede determinar que existe una potencia pico alcanzada de -40 dBm a lo largo de todo el espectro; del mismo, se establece que tanto en el canal dos como el nueve, cuyas frecuencias centrales se encuentran en 2.417 GHz y 2.452 GHz, respectivamente, se tiene una gran demanda, además de ser puntos en donde confluyen frecuencias que generan solapamiento entre los canales. En base a una toma de datos en la zona céntrica de la ciudad con el software NetSpot, Figura 45, se puede identificar que al rededor del canal nueve se superponen algunos canales como es el caso del canal ocho, 10 y 11, este último muy ocupado por los equipos de los proveedores de servicio de internet (ISPs). Un caso similar se da para el canal dos con sus canales adyacentes.

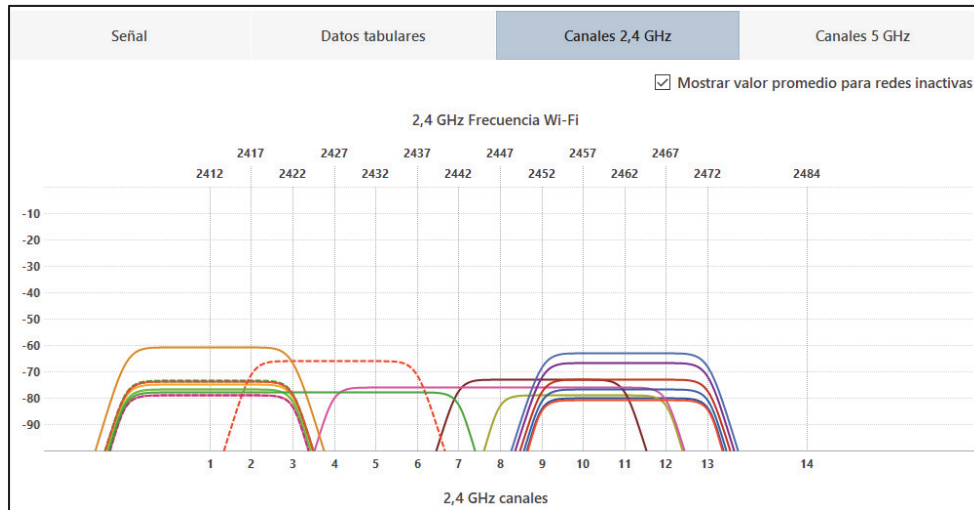


Figura 45. Redes detectadas usando NetSpot en la esquina del Parque central, calles Bolívar y José Antonio Eguiguren, horario vespertino.

Otra muestra importante se observa en la Figura 38, obtenida mediante un recorrido realizado por la periferia del área de regeneración, en donde se corrobora el análisis descrito en el párrafo anterior. La captura de datos permite observar barras estadísticas que representan el porcentaje de uso por canal, dando a conocer que los canales 5, 6, 11 y 12 son los que están menos saturados.

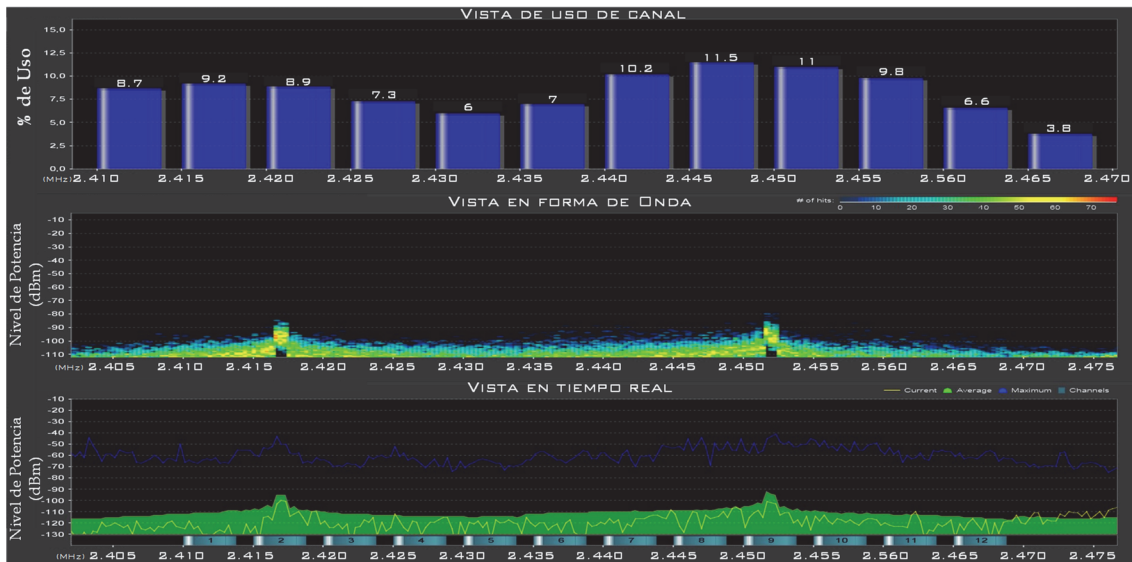


Figura 46. Barrido espectral en la banda de 2.4 GHz en la periferia del área correspondiente al Proyecto de Regeneración Urbana de la ciudad de Loja.

Con base al análisis del espectro, se pone a consideración a los canales 15, 25 y 26 de ZigBee ubicados en las frecuencias centrales de 2425 GHz , 2475 GHz y 2480 GHz

respectivamente, para ser utilizados en la red de telegestión, esto debido a que son los canales que presentan menos carga, según los resultados obtenidos en los barridos espectrales, a más de estar alejados de las frecuencias centrales de los canales 1, 6 y 11, que son lo más usados por los ISPs; con lo que se mitigan de cierta manera peligros de interferencias. No se debe dejar a un lado la potencia pico promedio de -40 dBm obtenida del barrido general y la potencia promedio de hasta -90 dBm, Figura 44, que representa la potencia de ruido que estará presente en la red de forma general.

6.4 Distribución de luminarias y establecimiento de arquitectura de comunicación

La red de telegestión, motivo de este estudio, será implementada con el objetivo de monitorear y controlar el nuevo sistema de alumbrado público en el que se proyecta colocar 914 luminarias LED en nuevos postes, los mismos que serán dotados de energía mediante cableado eléctrico soterrado. Esta obra se lleva a cabo bajo la supervisión de la Empresa Eléctrica Regional del Sur S.A.



Figura 47. AMPERA MIDI – Schröder, [49].

El modelo AMPERA MIDI de la marca Schröder, Figura 47, ha sido la seleccionada para ser implementada en el nuevo sistema de alumbrado público, dentro de esta existe un compartimento en donde se puede alojar un controlador de segmento (LuCo), elemento sensor y actuador de la red de telegestión, como se ilustra en la Figura 14. Este dispositivo hace uso de una antena de radio frecuencia para comunicarse con sus homólogos dentro de la red, Figura 48.

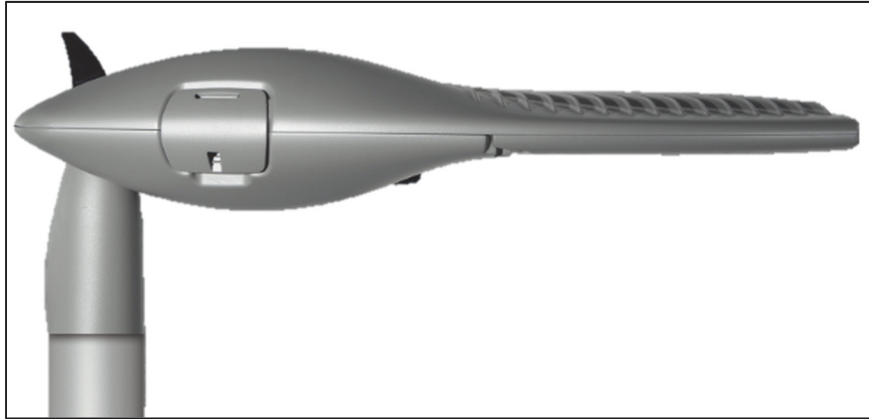


Figura 48. AMPERA MIDI –Antena para LuCo, [49].

Para abarcar la totalidad de luminarias LED, un grupo de LuCos deben ser asignados a un SeCo. Cada SeCo puede tener a su cargo la administración de 150 LuCos, para fines pertinentes se ha considerado establecer un 30% de margen para crecimiento futuro y/o posibles emergencias que se puedan suscitar una vez que el sistema sea puesto en marcha. Es así como se estima una cantidad de 105 LuCos por SeCo, dando como resultado la segmentación presentada manera gráfica en el Anexo 15 y a detalle en el Anexo 16.

La segmentación puesta a consideración hace uso de nueve SeCos distribuidos en el área de actuación, posteriormente, estos deben enviar la información a una base de datos para el posterior manejo y presentación de la información en la EERSSA; según información obtenida del Anexo 10, los controladores de segmento ConnectPort® X4 de Digi, tienen la posibilidad de conectarse al servidor por medios cableados (*Ethernet*) así como inalámbricos (HSPA+ O LTE).

Si bien es cierto que la comunicación inalámbrica constituye una solución rápida y eficaz para solucionar esta parte de la red, debido a que el operador de telefonía garantiza el servicio las 24 horas, los 365 días del año, sin embargo, el principal problema de esta solución es el costo total de las comunicaciones, sobre todo al tratarse de una red de nodos de fácil expansión, lo que impacta directamente en las tarifas que se deben pagar a la operadora. Como alternativa se considera viable la creación de una red de comunicación propia, aprovechando que el escenario en cuestión posee características que facilitan el despliegue de una red cableada que soporte todo el tráfico generado, a esto, se suma la

posibilidad de generar redundancia mediante comunicación inalámbrica, agregando robustez y fiabilidad al sistema, [50].

6.5 Topología lógica y física de la red.

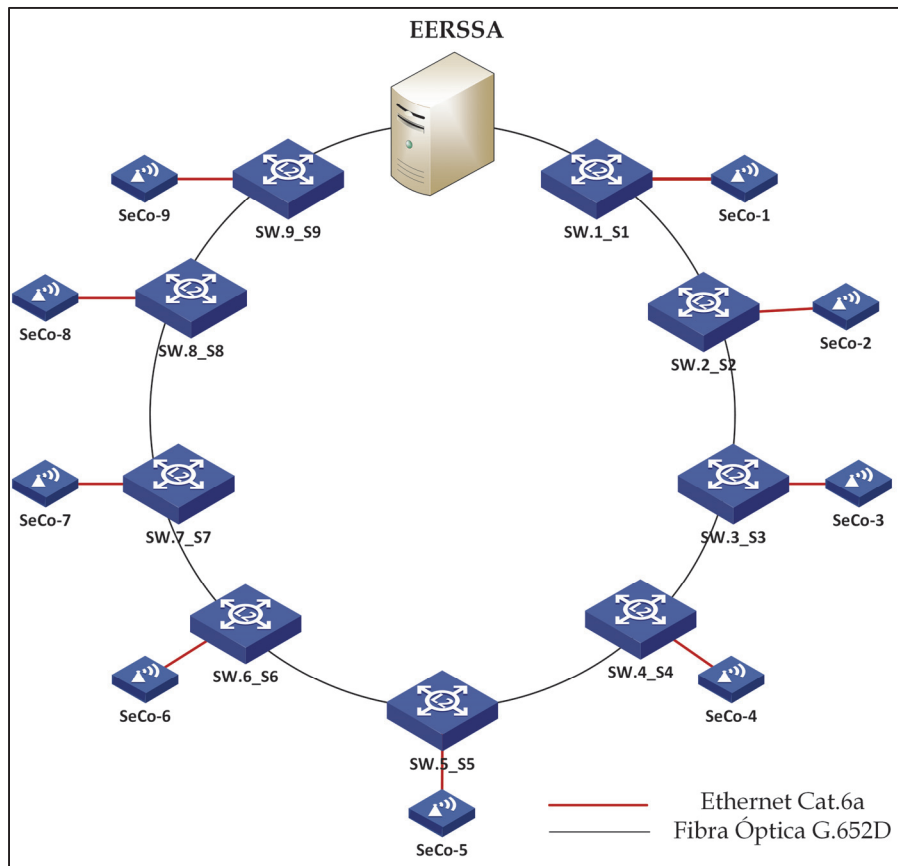


Figura 49. Anillo de fibra para sistema de telecontrol.

Fuente: [El Autor].

Con el desarrollo evidente de las telecomunicaciones en zonas urbanas y la cantidad de aplicaciones que nacen con la idea de la IoT o las *Smart Cities* es imprescindible la implementación de planta externa para lograr la comunicación desde una central de telecomunicaciones hasta los clientes dentro de un área de cobertura. La necesidad inherente de contar con un sistema fiable y seguro para la transmisión de la información del sistema de telegestión, conlleva la elección de una tecnología como la fibra óptica para ser usada en la red troncal, en base a la disponibilidad de infraestructura de canalización presente en la zona que comprende el proyecto de “Regeneración urbana”, [44].

El tráfico generado por cada SeCo va desde 37.5 Mbps hasta 150 Mbps como máximo. Para el presente proyecto se ha determinado conveniente el despliegue de una un anillo de fibra óptica, Figura 49, para llegar con esta a todas las cámaras en donde serán colocados los equipos necesarios para dar acceso a cada controlador de segmento, cumpliendo el orden presentado en el Anexo 19.

6.5.1 Acometida

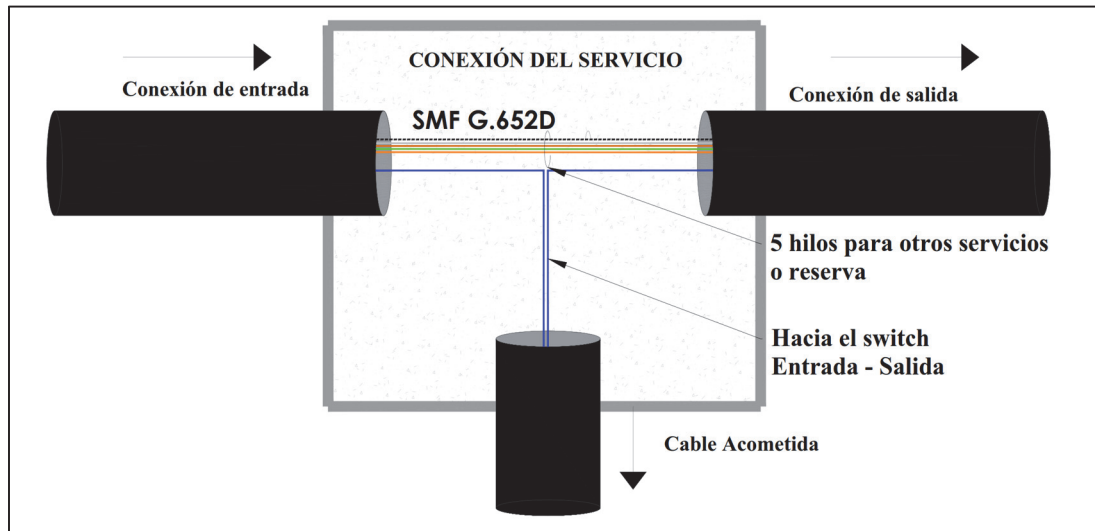


Figura 50. Derivación de cable de red troncal hacia el switch, [44].

Para el tendido de la red de fibra es necesario un cable de fibra óptica armado, monomodo de 6 hilos, dejando 5 hilos para reserva o futuras aplicaciones debido a que únicamente es necesario un hilo para crear la red troncal de este sistema. En cada cámara de transformación donde serán colocados los equipos activos de la red, se debe disponer de un gabinete de telecomunicaciones en donde colocar los equipos necesarios para fusión y sangrado de fibra; este proceso permite habilitar los hilos de fibra óptica del cable instalado a fin de conectarlos físicamente hacia las interfaces del equipo activo, estas conexiones deben realizarse utilizando *patch cords* SC-LC, pulido tipo UPC, tipo simplex. Un cable UTP - Cat 6a sirve como medio de conexión desde el switch al controlador de segmento. En el Anexo 11, se da a conocer la disposición de un controlador de segmento para su instalación dentro de su caja/IP66 correspondiente.

6.5.2 Distribuidor de fibra óptica - ODF

Para el presente proyecto se considera pertinente la colocación de un ODF de *case* plástico, debido a las condiciones ambientales que se manejan dentro de una cámara subterránea. Los ODF's deben contar con al menos dos puertos de ingreso posterior para entrada y salida del cable de anillo, y dos puertos secundarios para realizar las conexiones hacia el equipo activo.

6.5.3 Canalización

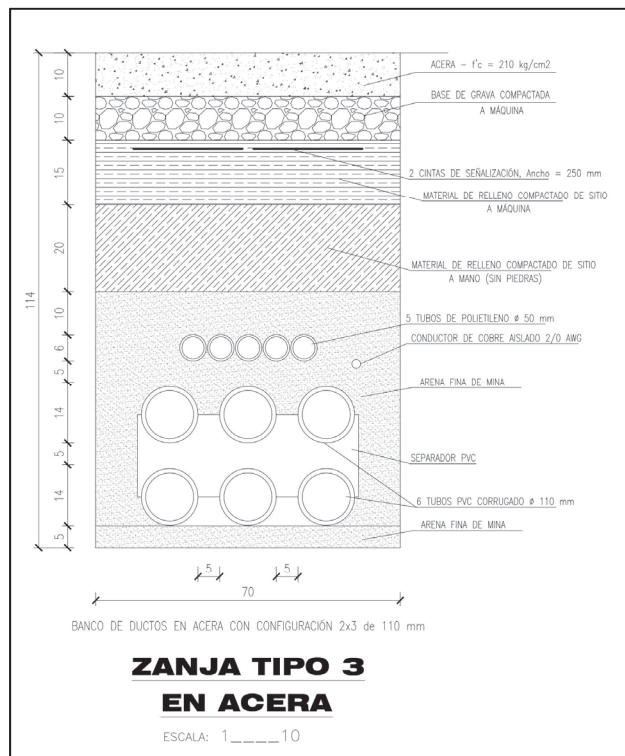


Figura 51. Ductería para redes subterráneas de abastecimiento de energía eléctrica del casco urbano central de la ciudad de Loja, [44].

Para el cable de fibra óptica, se debe utilizar uno de los cinco tubos de polietileno de dos pulgadas que forman parte de las canalizaciones propiedad de la EERSSA, Figura 51. La fibra óptica es inmune al ruido y a las interferencias electromagnéticas por ser un medio dieléctrico, lo que le permite compartir las rutas de canalización en donde existen instalaciones de media o alta tensión.

Gracias a la información y la disponibilidad de los planos contractuales sobre el sistema de redes subterráneas de abastecimiento de energía eléctrica, se conoce la canalización,

que interconecta a las cámaras de transformación, Anexo 18, en donde se alojan los equipos que dotan de energía eléctrica al sistema de alumbrado público en el casco urbano de la ciudad de Loja, misma que se puede aprovechar para realizar el despliegue de fibra óptica cumpliendo con la topología propuesta en la Figura 49 y la normativa CNT E.P, [51], dando como resultado el recorrido que se puede observar en el Anexo 17.

6.5.4 Equipos activos para la red de fibra óptica.

6.5.4.1 Switch industrial

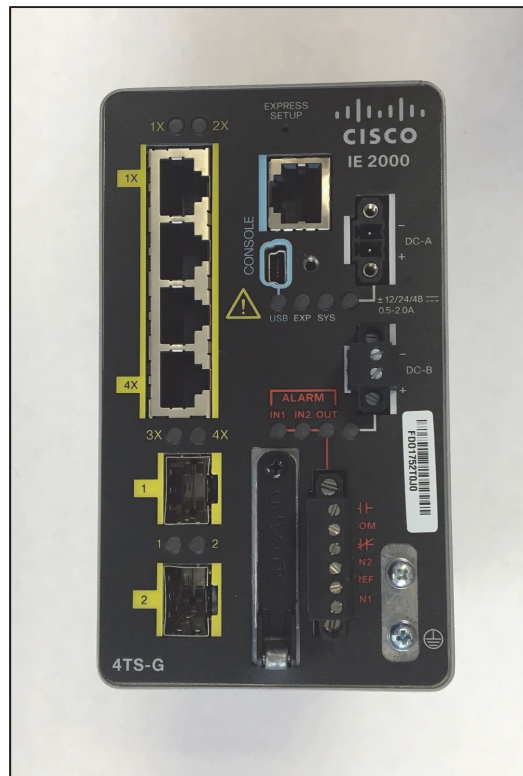


Figura 52. Switch industrial ethernet - Cisco IE-2000-4TS-G-L, [52].

Este elemento de la red está asignado a ser colocado en cada cámara de transformación en donde esté planificado dar acceso a la red para cada controlador de segmento. Debe poseer características de carácter industrial, debido a las condiciones ambientales y riesgos de interferencia a las que se expone al estar dentro de una cámara de transformación subterránea. Se propone usar el Switch Cisco IE-2000-4TS-G-L, Figura 52, mismo que presenta las características presentadas en la Tabla 12, [52]:

Tabla 12. Características principales del Switch Cisco IE-2000-4TS-GL, [52].

DESCRIPCIÓN	ESPECIFICACIÓN
Hardware	<ul style="list-style-type: none"> - 256 MB DRAM con memoria ECC - IEEE 1588v2 FPGA - 64 MB de memoria flash incorporada - Tarjeta de memoria flash SD extraíble de 1 GB (opcional) - Conector mini-USB
Conectores y cableado.	<ul style="list-style-type: none"> - 2 Puertos basados en SFP (100 Mbps y 1 Gbps) y CWDM SFP - Puertos 10/100/1000BASE-T: conectores RJ-45, cableado UTP de categoría 5 de 4 pares.
Pruebas corrosivas	<ul style="list-style-type: none"> - ISO-12944-6 - IEC-60068-2-60
Humedad	<ul style="list-style-type: none"> - IEC 60068-2-52 (niebla de niebla salina, prueba Kb ambientes marinos) - IEC 60068 -2-3 - IEC 60068-2-30 - Humedad relativa: 5% a 95% sin condensación
Temperatura de almacenamiento y funcionamiento	<ul style="list-style-type: none"> - 40 C a +85 C (temperatura de almacenamiento) - IEC 60068-2-14 - Altitud de almacenamiento: hasta 15,000 pies

6.5.4.2 Transceptor óptico



Figura 53. Transceptor óptico GLC-BX-U SC, [53].

El transceptor óptico debe ser compatible con las especificaciones técnicas del switch proyectado. Se ha elegido el modelo GLC-BX-U SC, posee características 1G Bidireccional, además de poseer las siguientes características:

Tabla 13. Características del transceptor óptico, [53].

DESCRIPCIÓN	ESPECIFICACIÓN
Distancia (Km)	20
Tasa de datos de operación (Gbps)	Hasta 1.25
Tx/Rx (nm)	1310/1490
Potencia de salida promedio (dBm)	-9 a -3.
Sensibilidad del receptor (dBm)	-20
Interfaz de conector	LC - SC simplex
Temperatura de la caja de operación comercial para versión industrial (°C)	-40 a +85
Temperatura de almacenamiento (°C)	-40 + 85

6.5.5 Cálculo de atenuación en el enlace de fibra óptica

El tramo de canalización de mayor longitud, se encuentra desde el switch 7 al 9, ver Anexo 17, el tendido de fibra óptica requerido es de 2496 m, en la revisión bibliográfica se definió la longitud de onda de 1490nm para canal descendente y 1310 nm para canal ascendente, para realizar el cálculo se tomará en cuenta la pérdida típica que presenta la longitud de onda de 1310 nm por ser la de mayor valor, es decir que en este caso la atenuación será $\alpha_{1310} = 0.4 \text{ dB/Km}$. Además, se toma en cuenta valores típicos de atenuación media por empalme entre 0.1 dB y atenuación media de los conectores de 0.5dB. Reemplazando los valores en la ecuación (3):

$$A = \alpha L + \alpha_s x + a_c y + a_r$$

En donde:

α_{1310} : 0.4 dB/Km

L : 2.461 Km

α_s : 0.1 dB

a_c : 0.5 dB

x : 2

y : 2

a_r : 3 dB

Con lo que se obtiene una atenuación de:

$$A = (0.4 * 2.461) + (0.1 * 2) + (0.5 * 2) + 3$$

$$A = 5.21 \text{ dB}$$

La potencia en el receptor se calcula utilizando la ecuación (4):

$$P_{rx} = P_{tx} - A \quad \text{Ecuación 4}$$

Entonces, considerando los parámetros del tranceptor óptico con una potencia de transmisión $P_{tx} = -9 \text{ dBm}$, en el receptor se tiene:

$$P_{rx} = -9 - 5.21 = -14.21 \text{ dBm}$$

Contrastando el valor calculado con la sensibilidad de -20 dBm del tranceptor óptico propuesto, se puede verificar que el valor que se obtiene en el receptor es aceptable.

6.5.6 Seguridad Owlet Nightshift

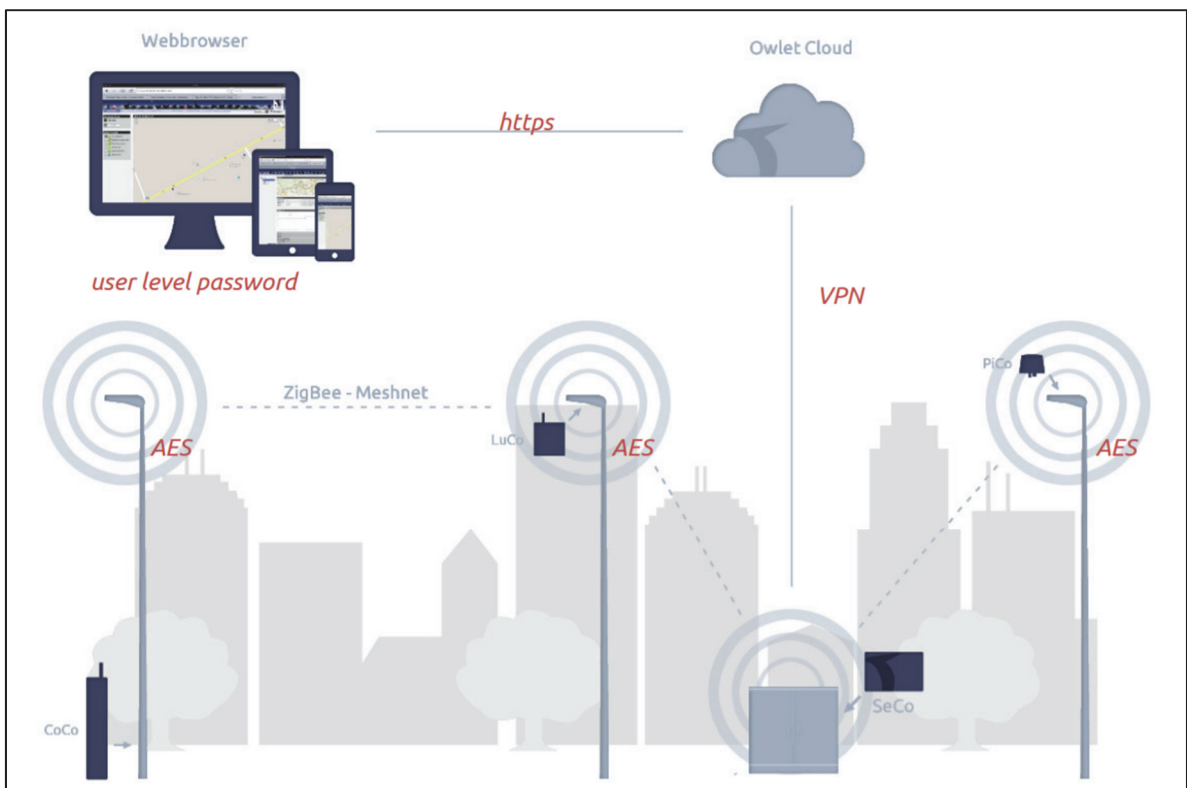


Figura 54. Seguridad en el sistema de Telegestión, [38].

El sistema pone especial importancia en la integridad del sistema y la protección de sus datos. Nightshift opera utilizando puntos de acceso protegidos por contraseña y/o por comunicaciones cifrados en todos los niveles en áreas protegidas, [38].

Tabla 14. Niveles y tecnologías usada en seguridad, [38].

Nivel	Método usado
Acceso al servidor	Acceso con nombre de usuario y contraseña.
Derechos de usuario	Cada usuario solo puede acceder de acuerdo a los permisos que se le han otorgado.
Conexión de usuario / servidor	El servidor funciona mediante el protocolo https.
Conexión servidor / SeCo	Conexión segura (túnel VPN)
Conexión SeCo / LuCo	Comunicación ZigBee encriptada (encriptación AES de 128 bits)

En la Tabla 14 se resume las tecnologías usadas para cifrado y seguridad en los diferentes niveles del sistema de telegestión, en la revisión bibliográfica, iniciando desde la comunicación LuCo/SeCo, la comunicación ZigBee es encriptada usando AES de 128 bits, además ofrece protección de reproducción de mensajes, código de autenticación de mensajes, protección de puertos de depuración, cargadores de arranque seguros y claves precompartidas, para garantizar la confiabilidad de las comunicaciones. El controlador de segmento por su parte tiene la posibilidad de establecer comunicaciones cifradas con el servidor utilizando VPN (*Virtual Private Network*) con protocolos como Ipvsec o SSHv2 ofreciendo autenticación y encriptación de cada paquete IP enviado en la comunicación. El usuario por su parte debe ser autenticado por medio de claves y puede acceder a realizar las acciones según los permisos que se le han otorgado, accediendo a los controles del software de forma segura con la ayuda del protocolo HTTPS, [38], [54].

7. DISCUSIÓN

Luego de sistematizar los resultados de los estudios realizados y de contrastarlos con los referentes teóricos, se puede determinar lo siguiente:

Identificando la escalabilidad, robustez, versatilidad, disponibilidad y desarrollo, que posee *ZigBee* en el ámbito de las WSN, queda definido que es una tecnología de comunicación cuya pila de protocolos cumple satisfactoriamente con los requerimientos necesarios para la implementación de un sistema de telegestión en una zona urbana, dejando en consideración a *LoraWAN* como una especificación relativamente nueva, que constituye una opción con grandes prestaciones, con la que se puede trabajar en futuros diseños.

Para el diseño de WSN se debe elegir una topología que garantice la estabilidad y eficiencia de la red. Los resultados de la comparación entre las topologías en árbol y malla con ayuda del software Riverbed Modeler, bajo criterios de: retardo, cantidad de tráfico recibido, carga en MAC y tasa efectiva, permitieron definir cuál de ellas tiene mayores prestaciones. Además, por la cantidad de nodos a manejar se requiere de un protocolo que facilite el crecimiento de la red, característica que también poseen las redes en malla, debido a que poseen las propiedades de: autoconfiguración y regeneración. Hay que tener en cuenta que un simulador es creado para brindar la posibilidad de probar y demostrar redes antes de su implementación, por lo que se constituye en una herramienta de aproximación cuya precisión depende del grado de desarrollo del software en sí, y el nivel de conocimiento que el usuario tenga sobre el manejo de este.

La obra de Regeneración Urbana en la ciudad de Loja ha tenido un gran avance en las mejoras planificadas, en lo que respecta al sistema de alumbrado público, se ha escogido a la marca Schröder para la adquisición de luminarias. Las potencias con las que trabajan los dispositivos que conforman la solución Schröder para telegestión, tienen un radio de alcance de 90m para zonas urbanas en las que no se tiene línea de vista, con los que es necesario conformar una red mallada para abarcar todo el sistema de alumbrado público. Se debe considerar que utilizando una potencia de 63 mW (18 dBm) con un rango de 90 m se puede llegar a establecer enlaces largos que pueden resultar inestables dada las características del área de aplicación, considerado como hostil para las comunicaciones

inalámbricas usando la banda ISM, por lo que se sugiere disminuir la potencia de trabajo a 49 mW (16.9 dBm) para lograr un rango de 70 m logrando establecer enlaces más cortos y confiables.

Mediante lecturas in situ del espectro electromagnético, se logró identificar a los canales más usados dentro de la banda 2.4 GHz, distintas muestras tomadas haciendo un barrido del espectro, ayudaron a identificar los canales que debe ocupar la nueva red de telegestión para evitar de cierta manera las interferencias y asegurando la coexistencia con las redes que vienen funcionando dentro de la zona. Durante el proceso de toma y análisis de datos, se pudo identificar el alto uso de los canales 2 y 9 de Wi-Fi, potencias pico de hasta -40 dBm y promedio de hasta -90 dBm, datos que deben tenerse en consideración para el nuevo diseño, dado que se traducen como ruido para la red de telegestión. En el espectro compartido de la banda de 2.4 GHz existen 16 canales de 5 MHz de ancho de banda para *ZigBee* (IEEE 802.15.4), para este caso se determina que los canales 15, 25 y 26 ubicados en 2425 GHz, 2475 GHz y 2480 GHz respectivamente, son quienes se encuentran con menos carga y que están disponibles para ser ocupados por la red de telegestión.

8. CONCLUSIONES

- El despliegue masivo de una red de sensores inalámbrica como la que se va a instalar en el proyecto de regeneración requiere de un análisis previo que permita determinar cuáles son los parámetros que puedan asegurar la confiabilidad de la red.
- La comunicación entre estos nodos presenta cierta dificultad, debido a características del entorno, ya que al tratarse de una zona urbana los distintos obstáculos que se pueden encontrar entre el transmisor y receptor pueden causar daños en la señal como: interferencia, desvanecimiento y multitrayecto, por lo que se debe planificar correctamente el uso de la potencia de transmisión, capaz de lograr enlaces cortos o que no atraviesen muchos obstáculos.
- Una vez identificados los estándares vigentes para el despliegue de la red de telegestión, se centró el análisis en *ZigBee*, cuya pila de protocolos conforman una potente tecnología de comunicación, misma que se ha desarrollado con la finalidad de optimizar el funcionamiento de redes de sensores inalámbricas orientadas al monitoreo y control. Esta tecnología ha ido ganando espacio en los últimos años, debido a su escalabilidad, robustez, versatilidad y disponibilidad, por lo que se convierte en tecnología solución aplicable para trabajar en este caso.
- Se determinó que la potencia para cada transmisor se debe establecer cerca de los 49mW (16.9 dBm) con lo que se asegura una comunicación estable de hasta los 70m.
- La simulación de las topologías en árbol y malla permitió comparar el rendimiento teórico entre estos dos, llegando a determinar que la topología en malla tiene mayores prestaciones en el caso de retardo extremo a extremo, con 14 ms frente a 18 ms de la topología en árbol, así mismo el tráfico recibido de aproximadamente 19 bit/sec con una cierta ventaja frente a la topología en árbol que logra 18 bit/sec, en cuanto a la carga en la capa MAC el enrutamiento en malla vuelve a mostrar mejor desempeño dado que logra 45 bit/sec frente a los 54 bit/sec de la topología en árbol, no así en el caso de la tasa efectiva en donde el enrutamiento en árbol toma ventaja con aproximadamente 52 (bit/sec) frente a los aproximados 44 (bit/sec) de la topología en malla, sin embargo no representa una diferencia

considerable por la que se pueda desmerecer el buen desempeño de la topología en malla. Por lo antes mencionado se seleccionó la topología en malla para ser utilizada en esta red.

- Haciendo uso de la herramienta airView de Ubiquiti y de NetSpot, se ha realizado un levantamiento del espectro en la banda de 2.4 GHz en horarios vespertinos y nocturnos de un solo día, logrando un resultado más concreto realizando la captura de datos mediante un recorrido por calles pertenecientes al proyecto de Regeneración Urbana, permitiendo conocer de mejor manera cual es la demanda que tiene la banda sujeta al análisis, determinando que los canales 15, 25 y 26 ubicados en 2425 GHz, 2475 GHz y 2480 GHz respectivamente, se encuentran menos congestionados y pueden ser ocupados por la red de telegestión.
- Con la implementación de un anillo de fibra óptica para el sistema de telecontrol, se logra independencia, redundancia, seguridad, robustez y posibilidad de crecimiento, con miras a implementar nuevos sistemas en pro de una ciudad más segura y amigable con el medio ambiente, estos pueden ser sistemas de cámaras de CCTV, sensores de contaminación, detectores de ruido, sensores de densidad de tráfico, altavoces IP, infraestructura de carga de vehículos eléctricos, etc., o a su vez reforzar la seguridad de la infraestructura de los servicios, mediante la implementación de sensores de apertura de puertas de armarios y postes, los sensores de impacto de postes, detección de cortes de cables, etc.

9. RECOMENDACIONES

- Para realizar simulaciones de redes inalámbricas, se recomienda llevar a cabo una investigación previa sobre las posibles herramientas que puedan cumplir con el objetivo de la simulación, se debe tener claro cuáles son las limitaciones, su dificultad y la literatura disponible con respecto al software que se pretende utilizar, dado que, si se inicia a trabajar con cierto simulador sin conocerlo del todo, la familiarización con este se verá limitada al avance que se logre utilizando el método de prueba y error, procedimiento ineficiente que solo generará demoras y la obtención de resultados inconsistentes.
- En vista de que para realizar las lecturas del espectro electromagnético se hizo uso de una herramienta que, si bien cumple con su función, no es la adecuada al momento de realizar un estudio de especial relevancia, se recomienda utilizar un analizador de espectro profesional, con el que se pueda obtener resultados más precisos.
- En la actualidad no existe normativa emitida por parte de los entes reguladores en el Ecuador acerca del despliegue de redes de sensores inalámbricos, así como de sistemas de telegestión en concreto, esta es necesaria tanto para regular los parámetros de funcionamiento para estos sistemas, como para garantizar la coexistencia de futuras redes que sean implementadas especialmente en zonas urbanas.

10. BIBLIOGRAFÍA

- [1] INER, “Alumbrado Público – Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energías Renovables”, INER, 2013. [En línea]. <https://www.iner.gob.ec/alumbrado-publico/>.
- [2] ARCONEL, “Plan Maestro de Electrificación 2013 – 2022 – ARCONEL”, 2013. [En línea]. <https://www.regulacionelectrica.gob.ec/plan-maestro-de-electrificacion-2013-2022/>.
- [3] Schröder, “Alumbrado público, urbano, deportivo e industrial”, Proyectos - Schröder, 2018. [En línea]. <http://internal.schreder.com/es-es/proyectos?Applications=f582b02c-aa4b-4433-b9d8-d70e67312e1b&q=>.
- [4] F. P. Nuñez, “SISTEMA DE MONITOREO Y CONTROL DEL ALUMBRADO PÚBLICO MEDIANTE UNA RED DE SENSORES RF”, Tesis de Ingeniería, Universidad Técnica de Ambato, Ambato, 2017.
- [5] Municipio de Loja, “Loja construye su futuro con Regeneración Urbana | Municipio de Loja”, 2016. [En línea]. <http://www.loja.gob.ec/noticia/2016-02/loja-construye-su-futuro-con-regeneracion-urbana>.
- [6] Empresa Electrica Regional del Sur S. A. - EERSSA, “Oficio Nro. EERSSA-GEOPE-2018-0127-OF”. 28-ago-2018.
- [7] CENAGE, “¿Qué es la telemetría?”, 17-mar-2016. [En línea]. <http://latinoamerica.cengage.com/que-es-la-telemetry/>.
- [8] F. Tama, “La Revolución del Alumbrado Público”, Energía, 2012, pp. 17-19.
- [9] Welight, “Soluciones de Telegestión para Alumbrado Público”, Welight. [En línea]. <http://www.welightsolution.com/soluciones/>. [Accedido: 19-jul-2018].

- [10] Insercad, “Red Mallada”, Insercad Electrónica. [En línea]. <http://www.insercad.com/Electronica/-/Nuestros%20clientes.html>.
- [11] N. Aakvaag y J. Frey, “Redes de sensores inalámbricos”, ABB, pp. 39-42, feb. 2006.
- [12] G. Montes, “REDES DE SENSORES INALÁMBRICAS (WSN): REDES DE SENSORES INALÁMBRICAS WSN (UPT-ARAGUA)”, REDES DE SENSORES INALÁMBRICAS (WSN), 15-jul-2012. [En línea]. <http://redesdesensoreswsn.blogspot.com/2012/07/redes-de-sensores-inalambricas-wsn-upt.html>.
- [13] D. Carrera, “Caracterización espacial de redes reconfigurables”. 01-sep-2017.
- [14] Journal of Computing and Information Technology, Vol. 26, No. 2, Junio 2018, 69–83.
- [15] “Conectividad en el Internet de las Cosas – tdrobotica.co – Aprender”. [En línea]. <http://aprender.tdrobotica.co/cursos/conectividad-en-el-internet-de-las-cosas/lessons/zigbee/>.
- [16] D. Shade, “ZigBee RF4CE coexistence with common 2.4-GHz ISM-band consumer electronics”, EETimes, 2010. [En línea]. https://www.eetimes.com/document.asp?doc_id=1276468.
- [17] D. Dolera Losada, “Rendimiento de los protocolos IEEE 802.15.4 en entornos ruidosos”, Tesis de Ingeniería, Universidad Politécnica de Cataluña, 2010.
- [18] A. León Muñoz, “Diseño de un sistema de localización basado en WSNs para un entorno interior hospitalario”, Trabajo de Final de Máster, Universidad Pública de Navarra, 2014.
- [19] M. A. Molina Reino, “MODELO DE PROPAGACIÓN PARA LA CIUDAD DE CUENCA (ECUADOR), EN REDES WLAN OPERANDO EN 2.4 GHz Y 5.8

GHz, EN AMBIENTES EXTERIORES”, Magister en Telecomunicaciones, Escuela Superior Politécnica del Litoral, Guayaquil, 2017.

- [20] C. Ortega, D. Roque, y L. Úbeda, “Trabajo de Técnicas de Alta Frecuencia TAF Tema: Zigbee”, Tesis de Ingeniería, Universidad Nacional de Ingeniería, Managua, 2008.
- [21] A. Martínez, “¿Qué es IoT (Internet de las cosas)?”, IAC, 2018. [En línea]. <https://www.iac.com.co/que-es-iot/>.
- [22] E. Crespo, “LoRaWAN – Aprendiendo Arduino”, Arduino y LoRaWAN, 2018. [En línea]. <https://www.aprendiendoarduino.com/category/lorawan/>.
- [23] Bill Ray, "Hype Cycle for IoT Standards and Protocols, 2018", Gartner Report ID G00338610, Aug 30, 2018, 61 pp.
- [24] Admin, “Estándares y Protocolos IoT. Curva de Gartner, Julio 2017”, IoT World Online, 04-ago-2017. [En línea]. <https://www.iiotworldonline.es/estandares-protocolos-iiot-curva-gartner-julio-2017/>.
- [25] “Smarter for all | Philips Lighting”, Philips Hue. [En línea]. <http://www.usa.lighting.philips.com/products/oem-components/lights-down-savings-up>.
- [26] “Red intergestionable Owlet Nightshift - Schröder, Expertos en Lightability”, Schröder, 2018. [En línea]. <http://schredersau6j9zprod.dxccloud.episerver.net/es-cl/aboutus/schreder-owlet-remote-management/schreder-owlet-interoperable-network>.
- [27] C. Pérez, “Seguridad en redes enalámbricas de alcance personal”, FOUC. Fundació per a la Universitat Oberta de Catalunya, 2012.
- [28] R. Espada, “Redes ZIGBEE”, AEXIT - Asociación Extremeña de Ingenieros de Telecomunicación, 18-ago-2013. [En línea]. <http://aexit.es/redes-zigbee/>.

- [29] C. V. Moreno Pallo, «Construcción de una red Zigbee prototipo para la adquisición de datos desde transmisores de corriente de dos hilos», B.S. Thesis, Escuela Politécnica Nacional, 2009.
- [30] J. Moreno y D. Ruíz, “Informe Técnico: Protocolo ZigBee (IEEE 802.15. 4)”, p. 36, jul. 2007.
- [31] I. Barneda, “Zigbee aplicado a la transmisión de datos de sensores biomédicos”, Bachelor Thesis, Universitat Autònoma de Barcelona, 2008.
- [32] inteliLIGHT®, “inteliLIGHT® intelligent street lighting and smart city company”, inteliLIGHT®. [En línea]. <https://intelilight.eu/company/>.
- [33] “Starsense Wireless Outdoor Lighting Management Systems Lighting Controls”, Philips Lighting. [En línea]. <http://www.lighting.philips.com/prof/lighting-controls/outdoor-lighting-management-systems/starsense-wireless>.
- [34] “BEKA launches Telemanagement Solution for Public Lighting Networks”, BEKA Schröder, 29-oct-2009. [En línea]. <https://www.beka-schreder.co.za>.
- [35] C. Suárez, “SISTEMAS INTEGRADOS DE GESTIÓN (ERP)”, 2010. [En línea]. http://www.gcd.udc.es/subido/catedra/presentaciones/economia_competencia_ii/nota_tecnica_sistemas_de_gestion_erp_carlos_suarez_rey_17-03-2010.pdf.
- [36] SOCELEC. “Gestión Energética Eficiente - Murcia”. (2012). [En línea]. <https://docplayer.es/11220872-Owlet-iluminacion-justa-04-octubre-2012-gestion-energetica-eficiente-murcia.html>
- [37] J. A. Ramirez Pinto, “Proyecto Piloto de telegestión del servicio de Alumbrado Público de la ciudad de Bucaramanga”, Tesis/trabajos de grado, 2011.
- [38] 2014 Owlet GmbH, Owlet Nightshift User Manual, vol. 2.401.17.130en. 2015.

- [39] Schröder Group, “Owlet IoT - an advanced remote management system that enables cities to easily enter the era of IoT”. 2017. [Vídeo]. Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=xp9Z7nRoeCU&feature=youtu.be>.
- [40] “airMAX - Using airView to Find the Best Channel”, Ubiquiti Networks Support and Help Center. [En línea]. <http://help.ubnt.com/hc/en-us/articles/204950584-airMAX-Using-airView-to-Find-the-Best-Channel>.
- [41] “Aplicación gratuita NetSpot para analizar redes WiFi”, NetSpot. [En línea]. <https://www.netspotapp.com/es/features.html>.
- [42] “Laboratorio de comunicaciones ópticas”, Transmisión de datos por Fibra Óptica. [En línea]. <http://www.tfo.upm.es/educational-tools/paneles/Intro2.html>.
- [43] CCNA - Cisco Certified Network Associate, CCNA 1 and 2, vol. 3.1.
- [44] Municipio de Loja, Diseño de Canalización para la Red de Fibra Óptica Municipal y para el Soterramiento de Redes Privadas de Telecomunicaciones. 2015.
- [45] R. Barrera, “Red de fibra óptica con tecnología GPON para el mejoramiento de los servicios de telecomunicaciones de la empresa Puntonet S.A en la ciudad de Ambato”, Tesis de Ingeniería, Universidad Técnica de Ambato, 2014.
- [46] CISGROUP, Soluciones de Fibra Óptica. Argentina, 2018.
- [47] V. Quinde, “Monitoreo en tiempo real de la salud estructural de puentes (MSE) para la detección temprana de fallas mediante un prototipo de red de sensores inalámbricos ubicados en el puente del Río Boquerón-Catamayo”, Tesis de Ingeniería, Universidad Nacional de Loja, Loja, 2016.
- [48] “Digi ayuda a la compañía de iluminación para exteriores, Owlet Nightshift, ahorra energía y reduce los costos de mantenimiento - Digi International”, jun-2017. [En línea]. <https://www.digi.com/customersuccesses/owlet-nightshift-by-schreder>.

- [49] schrederled.co.uk, “Ampera”, Schreder UK, 2018. [En línea]. <https://www.schrederled.co.uk/ampera>.
- [50] C. J. Vives Nevot, “Los dilemas de la conectividad en las 'smart cities'”, Interempresas, oct-2017. [En línea]. https://www.interempresas.net/Smart_Cities/Articulos/203114-Los-dilemas-de-la-conectividad-en-las-Smart-Cities.html.
- [51] Corporacion Nacional de Telecomunicaciones. “Norma Tecnica de Diseno y Construccion de Redes de Telecomunicaciones con Fibra Optica”, Quito: CNT E.P, 2013.
- [52] “CISCO INDUSTRIAL ETHERNET IE-2000-4TS-G-L Ethernet Switch and Power Supply - \$700.00 | PicClick”, [En línea]. <https://picclick.com/Cisco-Industrial-Ethernet-IE-2000-4TS-G-L-Ethernet-Switch-and-Power-121806773807.html>.
- [53] “Cisco GLC-BX-D-SC Optical Transceiver”, [En línea]. <https://solid-optics.com/optical-transceivers/sfp/cisco-glc-bx-d-sc-optical-transceiver-id28.html>.
- [54] Digi International Inc, IoT Device Security: Built-In, Not Bolt-On. 2017.

11. ANEXOS

ANEXO 1. SECCIÓN DE LA ZONA DE INTERVENCIÓN PARA ANÁLISIS DE POTENCIA.



ANEXO 2. MEMORIA TÉCNICA SOTERRAMIENTO CENTRO CIUDAD DE LOJA, PP.37.



2.13.1. CUADRO DE MANDO

Se instalarán los cuadros de control de la red de alumbrado público en la cabecera de los circuitos de alumbrado, ubicados en las cámaras subterráneas de transformación y seccionamiento, con un total de 29 cajas de control.

Las protecciones del alumbrado se ha diseñado con interruptores termomagnéticos y diferencial dentro del cuadro de control de cabecera.

Estos irán equipados con reloj astronómico o PLC que controle el encendido y apagado de la red. El sistema de alumbrado público adicionalmente estará controlado por un sistema de gestión mediante comunicación con radiofrecuencia.

La estructura de control y gestión se podrá apreciar en el siguiente gráfico.



ANEXO 3. ESPECIFICACIONES DE LOS MÓDULOS XBEE DE DIGI.

SPECIFICATIONS	Digi XBee® S2C ZigBee		Digi XBee-PRO® S2C ZigBee		Digi XBee® S2D ZigBee Thread Ready
	Standard	Programmable	Standard	Programmable	Standard
PERFORMANCE					
TRANSCIVER CHIPSET	Silicon Labs EM357 SoC				Silicon Labs EM3587 Soc
DATA RATE	RF 250 Kbps, Serial up to 1 Mbps				
INDOOR/URBAN RANGE*	Up to 200 ft (60 m)		Up to 300 ft (90 m)		Up to 200 ft (60 m)
OUTDOOR/RF LINE-OF-SIGHT RANGE*	Up to 4000 ft (1200 m)		Up to 2 miles (3200 m)		Up to 4000 ft (1200 m)
TRANSMIT POWER	3.1 mW (+5 dBm) / 6.3 mW (+8 dBm) boost mode		63 mW (+18 dBm)		3.1 mW (+5 dBm) / 6.3 mW (+8 dBm) boost mode
RECEIVER SENSITIVITY (1% PER)	-100 dBm / -102 dBm boost mode		-101 dBm		-100 dBm / -102 dBm boost mode
FEATURES					
SERIAL DATA INTERFACE	UART, SPI				
CONFIGURATION METHOD	API or AT commands, local or over-the-air (OTA)				
FREQUENCY BAND	ISM 2.4 GHz				
FORM FACTOR	Through-Hole, Surface Mount				Surface Mount
INTERFERENCE IMMUNITY	DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum)				
ADC INPUTS	(4) 10-bit ADC inputs				
DIGITAL I/O	15				
ANTENNA OPTIONS	Through-Hole: PCB Antenna, U.FL Connector, RPSMA Connector, or Integrated Wire SMT: RF Pad, PCB Antenna, or U.FL Connector				
OPERATING TEMPERATURE	-40° C to +85° C				
DIMENSIONS (L X W X H) AND WEIGHT	Through-Hole: 0.960 x 1.087 in (2.438 x 2.761 cm) SMT: 0.866 x 1.33 x 0.120 in (2.199 x 3.4 x 0.305 cm)		Through-Hole: 0.960 x 1.297 in (2.438 x 3.294 cm) SMT: 0.866 x 1.33 x 0.120 in (2.199 x 3.4 x 0.305 cm)		SMT: 0.866 x 1.33 x 0.120 in (2.199 x 3.4 x 0.305 cm)
PROGRAMMABILITY					
MEMORY	N/A	32 KB Flash / 2 KB RAM	N/A	32 KB Flash / 2 KB RAM	N/A
CPU/CLOCK SPEED	N/A	HCS08 / up to 50.33 MHz	N/A	HCS08 / up to 50.33 MHz	N/A
NETWORKING AND SECURITY					
PROTOCOL	ZigBee PRO 2007, HA-Ready with support for binding/multicasting				
ENCRYPTION	128-bit AES				
RELIABLE PACKET DELIVERY	Retries/Acknowledgements				
IDS	PAN ID and addresses, cluster IDs and endpoints (optional)				
CHANNELS	16 channels		15 channels		16 channels
POWER REQUIREMENTS					
SUPPLY VOLTAGE	2.1 to 3.6V		2.7 to 3.6V		2.1 to 3.6V
TRANSMIT CURRENT	33 mA @ 3.3 VDC / 45 mA boost mode	47 mA @ 3.3 VDC / 59 mA boost mode	120 mA @ 3.3 VDC	120 mA @ 3.3 VDC	33 mA @ 3.3 VDC / 45 mA boost mode
RECEIVE CURRENT	28 mA @ 3.3 VDC / 31 mA boost mode	42 mA @ 3.3 VDC / 45 mA boost mode	31 mA @ 3.3 VDC	45 mA @ 3.3 VDC	28 mA @ 3.3 VDC / 31 mA boost mode
POWER-DOWN CURRENT	<1 µA @ 25° C	1.5 µA @ 25° C	<1 µA @ 25° C	1.5 µA @ 25° C	<3 µA at 25° C
REGULATORY APPROVALS					
FCC, IC (NORTH AMERICA)	Yes		Yes		Yes
ETSI (EUROPE)	Yes		No		Yes
RCM (AUSTRALIA AND NEW ZEALAND)	Yes		Yes		No (Coming Soon)

*Range figure estimates are based on free-air terrain with limited sources of interference. Actual range will vary based on transmitting power, orientation of transmitter and receiver, height of transmitting antenna, height of receiving antenna, weather conditions, interference sources in the area, and terrain between receiver and transmitter, including indoor and outdoor structures such as walls, trees, buildings, hills, and mountains.

WWW.DIGI.COM



ANEXO 4. SCRIPT DE MATLAB – TRANSCRIPCIÓN DE UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE LOS POSTES DE ALUMBRADO Y ESTABLECIMIENTO DE VECINOS.

```

%%%%%%%%%% Primera parte %%%%%%%%%%%
N = 32;          % Número de nodos
range = 90;     % Rango de alcance del radio
%% ubicación de postes
X = [9 12 25 77 118 133 135 157 198 243 ...
     253 255 275 306 256 253 250 3 62 25 109 ...
     170 220 140 150 137 134 9 6 ...
     272 307 345];
Y = [58 26 68 71 75 32 68 78 80 85 ...
     67 38 86 89 105 150 191 175 199 197 201 ...
     203 204 100 90 140 185 83 130 ...
     206 209 211];
figure (1)
plot (X, Y,'b*');          % Nodos
str = sprintf ('Nodos (N = %d)', N);
title (str, 'Interpreter','latex', 'FontSize', 15);
axis ([0 370 0 250])      % Área de simulación
pbaspect ([1 1 1])
xlabel ('Distancia D [m]') %Comandos para etiquetar los ejes.
ylabel ('Distancia D [m]')
grid on
hold on
points = [X' Y'];        % Vectores X y Y
vector = repmat (sum (points. ^2,2), ...
    [1 size(points,1)]); % matriz cuadrada N x N con copias de (X^2+Y^2)
distances = sqrt (((vector + vector' - ...
    2*points*points'))); % matriz simetrica de distancias entre puntos.
% Distances = triu(distances);
center = 100;
H = zeros (1, N);
for i = 1: N
    H (1, i) = sqrt((X(i) - center) ^2 + (Y(i)-center) ^2);
end

[closestVal, closestInd] = min(H(H~=0));
closest500 = [points H'];
plot(X(closestInd), Y(closestInd), 'r*', 'MarkerSize', 8, 'LineWidth', 2);
hold on
[minVal, minInd] = min(distances(distances~=0));
[maxVal, maxInd] = max(distances(distances~=0));
% D = pdist ([X' Y'],'euclidean'); % Distancia euclidiana
[rowMin, colMin] = find(distances==minVal);

```

```

[rowMax, colMax] = find(distances==maxVal);
plot (points (:1), points (:2),'+');
n = num2str ([1: size(points,1)].');
text (points (:1) +.01, points (:2), n);
hold on
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% Segunda parte %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
B = distances~=0 & distances <= range;
[rowRange, colRange] = find(B==1);
figure (2)
plot (X, Y,'b*');
str = sprintf ('Nodos N = %d, Rango = %d', N, range);
title (str, 'Interpreter','latex', 'FontSize', 15);
axis ([0 370 0 250])
pbaspect ([1 1 1])
xlabel ('Distancia D [m]') %Comandos para etiquetar los ejes.
ylabel ('Distancia D [m]')
grid on
hold on
for i = 1: length(rowRange)
plot([X(rowRange(i)) X(colRange(i))], ...
[Y(rowRange(i)) Y(colRange(i))], '-k')
hold on
end
eucledean = zeros(N);
for i = 1: N
for j = i + 1: N
if distances (i, j) <= range
eucledean (i, j) = distances (i, j);
end
end
end
a = zeros (1, N);
for i = 1: N
a (1, i) = nnz (B (i, :));
end
isolatedNodes = length(X) - nnz(a)
plot (points (:1), points (:2),'+');
n = num2str ([1: size(points,1)].');
text (points (:1) +.01, points (:,2),n);
hold on
F = [rowRange, colRange];
edges = unique(F);
counts = histc (F (:), edges)/2;
% neighbors = [edges count]
avarage = mean(counts)

```

ANEXO 5. TABLA DE DISTANCIAS ENTRE NODOS CONECTADOS, OBTENIDA DESDE MATLAB.

Nodo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32					
1	0,0	32,1	18,9	69,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	25,0	72,1	0,0	0,0	0,0	0,0				
2	0,0	0,0	44,0	79,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	57,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0			
3	0,0	0,0	0,0	52,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	21,9	64,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0			
4	0,0	0,0	0,0	0,0	41,2	68,2	58,1	80,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	69,4	75,4	0,0	0,0	69,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		
5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	45,5	18,4	39,1	80,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	33,3	35,3	67,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	36,1	51,9	80,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	68,4	60,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	24,2	64,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	32,4	26,6	72,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	41,0	86,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	27,8	13,9	65,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	45,3	56,5	70,8	77,2	0,0	63,2	89,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	61,4	49,0	85,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
10	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	20,6	48,5	32,0	63,1	23,9	65,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
11	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	29,1	29,1	57,4	38,1	83,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
12	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	52,0	72,1	67,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
13	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	31,1	26,9	67,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
14	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	52,5	80,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
15	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	45,1	86,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
16	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	41,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	63,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	59,1	80,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
17	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	80,9	32,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	26,6	59,8	0,0	0,0	0,0	0,0	
18	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	63,7	31,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
19	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	37,1	47,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
20	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	84,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
21	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	61,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
22	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

ANEXO 6. MODELAMIENTO DE MODELO DE PROPAGACIÓN COST 231.

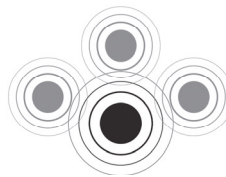
```
%Modelo COST 231
clear
clc
clear all %Comandos para limpiar la memoria.
f = 2400; %Valor de la frecuencia en "Mhz".
hb=10; %Altura de tx.
hr=10; %Altura de rx.
ahm2=(3.20*(log10(11.75*(hr))) ^2)-4.97; %Modelo COST231
cm=3; % #dB para lugares urbanos Modelo COST231
for d=1:100 %Numero de iteraciones.
D(d)=0.001*d; %Incremento de la distancia en 0.01Km
PC231(d)=46.3+(33.9*(log10(f)) -(13.82*(log10(hb)))-ahm2+((44.96-...
(6.55*(log10(hb)))) *(log10(D(d)))) +cm; %Formula COST231
% COST2(d)=46.3+(33.9*(log10(f)) -(13.82*(log10(hb2)))-ahm2+((44.96-...
%5(6.55*(log10(hb2)))) *(log10(D(d)))) +cm; %Formula COST231
SNR = -(- 101 + PC231);
PRX = (19.9 - PC231);
end

plot (D, PC231,'g') %Comando para graficar
hold on
xlabel ('Distancia D [Km]') %Comandos para etiquetar los ejes.
ylabel ('Perdida por trayectoria Modelo COST-231[dB]')
legend ('Altura antenna 10m')
grid on

figure
plot (D, SNR,'b') %Comandoparagraficar
xlabel ('Distancia D [Km]') %Comandos para etiquetar los ejes.
ylabel ('SNR [dB]')
legend ('Altura antenna 10m')
grid on

figure
plot (D, PRX,'b') %Comandoparagraficar
xlabel ('Distancia D [Km]') %Comandos para etiquetar los ejes.
ylabel ('PRX [dB]')
legend ('Altura antenna 10m')
grid on
```

ANEXO 7. CARACTERÍSTICAS DE OWLET RED INTERGESTIONABLE.



OWLET SOLUCIONES
INDEPENDIENTE 1
RED AUTÓNOMA 2
RED INTERGESTIONABLE 3

Complete el sistema de telegestión con el interfaz fácil de usar

Owlet Nightshift es un sistema de telegestión para supervisar, controlar, medir y gestionar una red de iluminación. Es una combinación única de tecnologías orientadas al futuro y un interfaz de web fácil de usar. Owlet Nightshift proporciona soluciones avanzadas para operar una instalación de iluminación de forma remota desde cualquier lugar del mundo.

La red de iluminación es gestionada a través de Internet mediante un navegador de web simple. Puede controlarse cada punto de luz individual en cualquier momento. Gracias a la comunicación bidireccional, puede supervisarse el estado operativo, el consumo de energía y los posibles fallos.

Seguridad

El sistema avanzado Nightshift proporciona un almacenaje de datos seguro y una copia de seguridad. El sistema utiliza mecanismos similares a los de seguridad de nivel bancario para codificar datos a pesar de usar navegadores de web estándar.

Informe

Los eventos son almacenados en la base de datos con una marca de hora exacta y posición geográfica. Los informes pueden ser predefinidos o personalizados para enfocarse en la información más interesante. Esta función proporciona una eficiente gestión de activos y alarmas para evitar que los pequeños fallos se conviertan en problemas graves y para detectar el vandalismo y robo.

Integración de terceros

Gracias a su tecnología abierta Zigbee y su almacenamiento de datos flexible en MySQL, el sistema Nightshift puede ser fácilmente asociado a sistemas ERP de terceros integrados a través de puentes de datos. Esta flexibilidad aumenta las funcionalidades más allá de la iluminación.

Situación de emergencia

En caso de problemas de control, el sistema pasa a un programa por defecto que asegura que la instalación de iluminación no se apague y siga proporcionando seguridad en el espacio público.

Gestión de datos

Toda la reacción del esquema de iluminación es almacenada en una base de datos MySQL que permite hacer evaluaciones a largo plazo, como análisis de la energía, la previsión de duración de la lámpara, la detección de problemas...

Gestión de alarma instantánea

Los fallos son registrados, identificados y localizados en tiempo real. La información puede ser automáticamente enviada a los operarios a través de una llamada telefónica de móvil, SMS o correo electrónico.

Compatibilidad absoluta

Cualquier tipo de lámpara, balasto o driver LED – auxiliar magnético, doble alimentación, reductor, balasto electrónico con o sin interfaz de 1-10 V o DALI – puede ser gestionado por Owlet Nightshift.

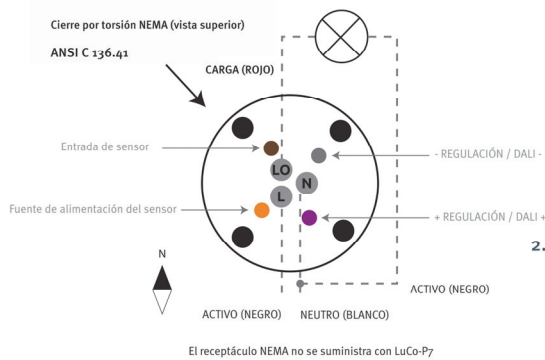
ANEXO 8. ESPECIFICACIONES - CONTROLADOR DE LUMINARIA LUCO-P7.

LuCo-P7 (CONTROLADOR DE LUMINARIA) FICHA TÉCNICA

APLICACIONES

LuCo-P7 controla los balastos y drivers LED como se indica en los diagramas de cableado más abajo.

Está diseñado para usos en luminarias de exteriores, para aplicaciones residenciales, viarias y urbanas, y como sustitución para la célula fotoeléctrica NEMA estándar con cierre por torsión.



ASPECTOS GENERALES DE FUNCIONAMIENTO

LuCo-P7 está diseñado para cuatro cometidos principales.

1. Control y detección

LuCo-P7 recibe los comandos de entrada (comandos de grupo, anulación manual y eventos de detección) procedentes del controlador de segmento SeCo, de los controladores vecinos en la retícula o del sensor local conectado y reacciona oportunamente para adaptar la emisión de luz de la luminaria con su interfaz 1-10 V/DALI (conectado, desconectado y 0 - 100% de luz).

Si se le acopla un sensor, LuCo-P7 compartirá la información del evento a través de la retícula de RF.

Mecanismo a prueba de fallos

Si se produce una perturbación en la comunicación inalámbrica, LuCo-P7 volverá a la conmutación de orto y ocaso basada en las condiciones de luz ambiente.

2. Generar ahorro de energía

El firmware de LuCo incorpora dos algoritmos de ahorro de energía configurables a distancia:

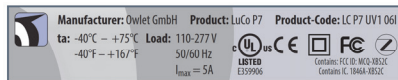
- Constant Light Output (CLO), que compensa la merma del flujo luminoso a lo largo del tiempo según el factor de mantenimiento de la unidad LED/lámpara/luminaria.
- Virtual Power Output (Potencia virtual, VPO), que iguala la graduación de potencia evitando el exceso de luminosidad.

3. Supervisión

La función de supervisión mide el voltaje de la red eléctrica, la corriente, el factor de potencia, las horas de encendido y el consumo de energía acumulado de la unidad de controlador LED/lámpara conectado. Estos datos los trasmite al SeCo a petición.

4. Informes

LuCo-P7, basándose en estas medidas y/o la información recibida a través de la interfaz DALI, determina si la luminaria, la lámpara o la unidad LED están funcionando dentro de los límites esperados.



LuCo-P7 es capaz de controlar hasta ocho drivers DALI o 1-10 V con una corriente de carga máxima de 5 A (600 VA a 120 V, 1,2 kVA a 240 V, 1,38 kVA a 277 V).

Un LuCo-P7 que no se haya puesto en marcha ejecutará el modo de conmutación de orto y ocaso siguiendo las condiciones ambientales de luz.



OWLET INALÁMBRICO PARA EXTERIORES LUCo-P7 (CONTROLADOR DE LUMINARIA) FICHA TÉCNICA

PUESTA EN MARCHA AUTOMÁTICA DE LUCo-P7

Gracias a su módulo GPS integrado, LuCo-P7 admite la puesta en marcha automática.

Los controladores Owlet con GPS se importarán automáticamente y se situarán en el sistema Nightshift. La dirección ZigBee y la ubicación GPS se detectan automáticamente y se asignan a un SeCo.

Si los nodos de LuCo-P7 se han configurado previamente, estos datos también se tienen en cuenta.



CONDICIONES DE FUNCIONAMIENTO	
Temperatura ambiente (ta)	-40 °C a +75 °C -40 °F a 167 °F
Humedad relativa	entre 10% y 90%

CONDICIONES CON EQUIPO NO OPERATIVO	
Temperatura	-30 °C a +80 °C -22 °F a 175 °F
Humedad relativa	entre 5% y 90%

CONEXIÓN ELÉCTRICA	
Voltaje de la red eléctrica	110-277 V c.a. ±10%
Frecuencia de la red eléctrica	50/60 Hz ± 5%
Corriente de carga máxima	5 A
Potencia máxima a 5 A	600 VA a 120 V, 1,2 kVA a 240 V, 1,38 kVA a 277 V
Fusible externo necesario	≤ 10 A

CONSUMO DE POTENCIA	
Potencia en stand-by	< 0,8 W
Potencia de funcionamiento	< 0,9 W
Precisión del medidor de potencia integrado	1% (regulación entre 0% y 100%)

RADIOFRECUENCIA	
Protocolo	IEEE802.15.4 / red de malla ZigBee Pro
Banda de frecuencias	2,4 GHz (2.400,0...2.483,5 MHz)

CARCASA	
Material	PC, resistente a radiación UV
Color	Gris claro translúcido RAL 7042
Clase de protección	IP 66 (ya instalado para controlador solo en combinación con TE PN: 2213362)

NORMATIVAS Y LEGISLACIÓN	
Homologaciones	Directiva sobre equipos radioeléctricos y equipos terminales de telecomunicación 1999/5/CE Directiva CEM 2004/108/CE Directiva de baja tensión 2006/95/CE Directiva RoHS 2002/95/CE
CEM	EN 301 489-1 V2.2.1:2012-09 EN 301 489-3 V1.8.1:2008-04 EN 301 489-3 V1.6.1:2013-08 FCC parte 15B, ICES-003
Radio	EN 300 328 V1.8.1:2012-06 EN 300 440-2 V1.4.1:2010-08 FCC 47 CFR Parte 15 Subparte B
Seguridad	IEC 61347-1 IEC 61347-2-11 EN 60950-22:2006+AC:2008 EN 60529:1991+A1:2000+AC:1993+A2:2013 UL 773 (E359906) UL 244A C22.2 N.º 182.2-M1987 CSA C22.2 N.º 205-12
Casquillo	ANSI C136.41, ANSI C136.10

INTERFAZ DALI	
Interfaz DALI conforme con IEC62386 parte 101, 102, 201, 203, 207	
Capacidad de carga	8 controladores DALI
Protección	La interfaz está protegida contra cortocircuitos
Voltaje de DALI	12,0 a 20,5 V.c.c.
Corriente de alimentación de DALI	16 mA máx.

INTERFAZ 1-10 V	
Cumple con la normativa 1-10 V c.c. IEC60929 (Anexo E)	
Capacidad de carga	8 controladores de 1-10 V
Corriente de carga	La interfaz es un sumidero de corriente, 16 mA máx.

CAPACIDADES GPS	
Compatible con sistema GPS (señales L1C/A a 1.575,42 MHz)	
Compatible con SBAS, Sistema de Aumentación Basado en Satélites	
Precisión de la posición de hasta 2,5 m (con > 6 satélites)	

FUENTE DE ALIMENTACIÓN DEL SENSOR	
12 V c.c. ± 0,5 V, 2 mA máx.	

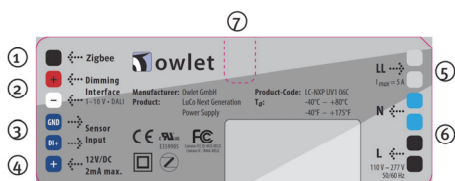


ANEXO 9. ESPECIFICACIONES - CONTROLADOR DE LUMINARIA LUCO-NXP.

CONTROLADOR Y MEDIDOR LUMÍNICO LuCo-NXP 1-10 V/DALI FICHA TÉCNICA

APLICACIÓN

LuCo-NXP controla los balastos y drivers LED como se indica en los diagramas de cableado de más abajo. Está diseñado para usarse en el interior de luminarias exteriores para aplicaciones residenciales, viarias y urbanas, incluyendo instalaciones Ambientales, Instalaciones Deportivas, Industriales y Campus.



1	Conexión de antena SMA ZigBee
2	Interfaz de regulación 1-10 V/DALI
3	Entrada de sensor (contacto seco)
4	Fuente de alimentación del sensor (12 V c.c. / 2mA máx.)
5	Salida al controlador, 110 V – 220 V 50/60 Hz
6	Fuente de alimentación, 110 V – 220 V 50/60 Hz
7	Conector LightSync

ASPECTOS GENERALES DE FUNCIONAMIENTO
LuCo-NXP está diseñado para cuatro cometidos principales.

1. Control y detección

LuCo-NXP recibe los comandos de entrada (comandos de grupo, anulación manual y eventos de detección) procedentes del controlador de segmento SeCo o de los nodos pertenecientes a su malla y reacciona como corresponda para adaptar la emisión lumínica de la luminaria por medio de su interfaz 1-10 V/DALI (conectado, desconectado y 0 - 100% de luz).

Si se conecta un sensor en la entrada de sensor de LuCo-NXP, este dispositivo enviará un evento de detección a la malla de RF, y todas las luminarias vinculadas actuarán en función del evento y dependiendo del perfil de regulación en reposo programado en los nodos LuCo-NXP.

A PRUEBA DE FALLOS

Si se produce una perturbación en la comunicación de RF, el LuCo-NXP volverá a la configuración de encendido de amanecer/atardecer en base a los cálculos astronómicos de la puesta y salida de sol.

La opción LightSync permite controlar el escenario de encendido en función del amanecer/atardecer según las condiciones de luz ambiental.

2. Generar ahorro de energía

El firmware de LuCo incorpora dos algoritmos de ahorro de energía configurables a distancia:

- Constant Light Output (CLO), que compensa la merma del flujo luminoso a lo largo del tiempo según el factor de mantenimiento de la unidad LED/lámpara/luminaria.
- Virtual Power Output (Potencia virtual, VPO), que realiza una regulación de potencia evitando el exceso de iluminación.

3. Supervisión

La función de supervisión mide el voltaje de la red eléctrica, la corriente, el factor de potencia, las horas de encendido y el consumo de energía acumulado de la unidad de controlador LED/lámpara conectado. Estos datos los trasmite al SeCo a petición.

4. Informes

LuCo-NXP, basándose en estas medidas y/o la información recibida a través de la interfaz DALI, determina si la luminaria/lámpara/unidad de LED están funcionando con la configuración correcta.

Los posibles errores se notifican al SeCo y se genera una alarma. También se incluyen mediciones del consumo de energía.

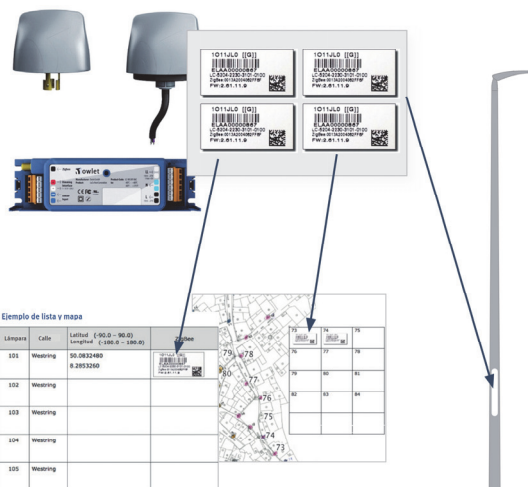
LuCo-NXP es capaz de gestionar hasta ocho controladores DALI o 1-10 V con una corriente de carga máxima de 5 A (550 VA a 110 V, 1,2 kVA a 240 V, 1,38 kVA a 277 V). Un LuCo-NXP que no se haya puesto en marcha conmutará su emisión a nivel máximo al encenderlo. Si está seleccionada la opción LightSync™, un LuCo-NXP que no se haya puesto en marcha funcionará en el modo de encendido de amanecer/atardecer según las condiciones de luz ambiental.

DISPOSITIVO OWLET INALÁMBRICO PARA EXTERIORES DATOS TÉCNICOS

DIRECCIÓN ZIGBEE/IEEE

LuCo-NXP es un nodo en una amplia red mallada de otros nodos controlados por uno o varios SeCo. Para representar el nodo en un mapa y referenciarlo individualmente, el controlador de segmento tiene que conocer la posición geográfica y la dirección unívoca de ZigBee. Esta dirección viene impresa en cuatro etiquetas de código de barras en el nodo.

Después de la instalación in situ, el código de barras se puede escanear al configurar el sistema.



CONDICIONES DE FUNCIONAMIENTO	
Temperatura ambiente (ta)	-40 °C a +80 °C -40 °F a 175 °F
Humedad relativa	entre 10% y 90%
Temp. máx. de carcasa	(tc) 80 °C

CONDICIONES CON EQUIPO NO OPERATIVO	
Temperatura	-30 °C a +80 °C -22 °F a 175 °F
Humedad relativa	entre 5% y 90%

CONEXIÓN ELÉCTRICA	
Voltaje de la red eléctrica	110-277 V c.a. ±10%
Frecuencia de la red eléctrica	50/60 Hz ± 5%
Corriente de carga máxima	5 A
Potencia máxima a 8 A	(550 VA a 110 V, 1,2 kVA a 240 V, 1,38 kVA a 277 V)
Fusible externo necesario	≤ 10 A

CONSUMO DE POTENCIA	
Potencia en stand-by	< 0,7 W
Potencia de funcionamiento	< 0,8 W
Precisión del medidor de potencia integrado	±1% (regulación entre 0% y 100%)

INTERFAZ DE SALIDA DALI	
Interfaz DALI conforme con IEC62386 parte 101, 102, 201, 203, 207	
Capacidad de carga	8 controladores DALI
Protección	La interfaz está protegida contra cortocircuitos
Voltaje de DALI	11,5 a 20,5 V c.c.
Corriente de DALI	±6 mA

INSTALACIÓN DEL TERMINAL	
<ul style="list-style-type: none"> - Conexión con dirección de salida a 135° - Palanca para apertura fácil del terminal - Sólido, flexible 0,13-2,5 mm² (IEC)/26-14 AWG (UL) con virola para extremo de cable DIN 46228 pt 1 mín. 0,25 mm² - 1,5 mm² y longitud de pelado de 6 mm 	

INTERFAZ 1-10 V	
Cumple con la normativa 1-10 V c.c. IEC60929 (Anexo E)	
Capacidad de carga	Ocho controladores de lámpara de 1-10 V
Corriente de carga	La interfaz es un sumidero de corriente de 16 mA máx.

FUENTE DE ALIMENTACIÓN DEL SENSOR	
12 V c.c. ± 0,5 V, 2 mA máx.	

RADIOFRECUENCIA	
Protocolo	IEEE802.15.4 / red mallada ZigBee Pro
Banda de frecuencias	2,4 GHz (2400,0...2483,5 MHz)

CARCASA	
Material	PPE+PS, RESINA: SABIC NORLYL N300X
Clase de protección	IP20 (ya instalado) proporciona aislamiento según clase II

NORMATIVAS Y LEGISLACIÓN	
Homologaciones:	UL 916 (E359905) Directiva R&TTE 1999/5/CE Directiva CEM 2004/108/CE Directiva de baja tensión 2006/95/CE Directiva RoHS 2002/95/CE EN301489-17 EN61000-6-2 EN61000-6-3 EN55022
Emisiones conducidas	FCC Parte 15 (MCQ-XBS2C)
Emisión radiada	FCC Parte 15 (MCQ-XBS2C)
Seguridad	EN60950-1 / EN 61347-2-11



ANEXO 10. ESPECIFICACIONES DE LA FAMILIA CONNECTPORT®X4.

SPECIFICATIONS	ConnectPort® X4	ConnectPort® X4 IA	ConnectPort® X4 H
WIRELESS INTERFACES			
WWAN**			
LTE CAT 1	N/A	N/A	Verizon: Bands 2,4,14 AT&T & T-Mobile: Bands 2,4,5 with 3G/2G Fallback
HSPA+ (U9)	850/900/1700 (AWS)/1900/2100 MHz; Transfer rate (max): 5.76 Mbps up, 21 Mbps down		
CDMA 1XRTT (BX)	800/1900 MHz; Transfer rate (max): 153 Kbps up/down		
CONNECTOR	1 or 2 x SMA (Center pin - on device: female; on antenna: male)		1 or 2 x SMA (Center pin - on device: female; on antenna: male)
SIM SLOTS	2 or 0 (CDMA variants)		1
SIM SECURITY	SIM slot cover plate		Internal SIM slot
RF			
STANDARD	ZigBee (2.4 GHz), DigiMesh® (2.4 GHz or 900 MHz), Digi XBee-PRO® 900HP, 802.15.4 or 868		
CONNECTOR	1 x RP-SMA (Center pin - on device: male; on antenna: female)		
WIRED INTERFACES			
SERIAL			
PORTS	1		
STANDARD	RS-232	RS-232/422/485 (Software selectable)	
DTE/DCE	DTE		
SIGNAL SUPPORT	TXD, RXD, RTS, CTS, DTR, DSR and DCD		
FLOW CONTROL	Hardware and software flow control		
COM PORT REDIRECTOR	RealPort®		
THROUGHPUT	Up to 230 Kbps		
CONNECTOR	DB 9 Male	Screw down terminal block	
ETHERNET			
PORTS	1		
STANDARD	IEEE 802.3		
PHYSICAL LAYER	10/100Base-T		
DATA RATE	10/100 Mbps (auto-sensing)		
MODE	Full or Half duplex (auto-sensing)		
INTERFACE	Auto MDI/MDIX		
CONNECTOR	RJ-45		
I/O			
PORTS	N/A	2 analog and 2 digital	
CONNECTOR	N/A	Screw-down terminal block	
USB			
PORTS	1		
STANDARD	USB 1.1		
SIGNALING	Full-speed		
CONNECTOR	Type A		
SOFTWARE/MANAGEMENT			
MANAGEMENT (CLOUD-BASED)	Digi Remote Manager®		
MANAGEMENT (LOCAL)	Web Interface via HTTP/HTTPS, Password access control, IP service port control; CLI via serial port, Telnet, Python scripting; Digi SureLink™ "always-on" connection		
SECURITY	SSL tunnels, SSHv2, FIPS 197 (IPsec, HTTPS)		

SPECIFICATIONS	ConnectPort® X4	ConnectPort® X4 IA	ConnectPort® X4 H
SOFTWARE/MANAGEMENT (CONTINUED)			
NETWORK PROTOCOLS	UDP/TCP, DHCP, SNMPv1/v2		
VPN	IPsec with IKE/ISAKMP; Multiple tunnel support; DES, 3DES and up to 256-bit AES encryption; VPN pass-through, GRE forwarding; Simple Certificate Enrollment Protocol (SCEP) for X.509 certificate		
ROUTING	NAT, NAT-T (NAT traversal) VPN tunneling, Port forwarding, VPN/GRE pass-through; Access control lists (IP filtering), IP pass-through, Virtual Router Redundancy Protocol (VRRP) per RFC 3768		
INDUSTRIAL PROTOCOL SUPPORT	Modbus bridge enables Modbus serial to Modbus/TCP conversion; Integrated Python code allows gateway to act as Modbus client/master or Modbus server/slave; Functions like an Ethernet to serial bridge, but uses Digi XBee to transport serial data; Handles unique timing issues per Modbus protocol rules; Uses Modbus Unit ID to look up IP or mesh MAC address.		
REAL-TIME CLOCK	Yes		
MEMORY	16 MB Flash, 32 MB RAM		
POWER			
INPUT	6-30 VDC		100-240 VAC
CONSUMPTION	Idle: 1.5 W, Max: 10.4 W		Approx. 15 W
PROTECTION	4 kV burst (EFT) per-4-4, 2 kV surge per EN61000-4		2 kV burst (EFT) (with included power supply)
CONNECTOR	Locking barrel	Compression terminal block	Pigtail AC power cord
DC POWER CORD*	Available upon request	N/A	N/A
AC POWER SUPPLY*	12 VDC power supply for 0° C to 40° C (32° F to 104° F) included; Extended temperature power supply available separately	N/A	Internal
BATTERY BACKUP	N/A		
PHYSICAL			
DIMENSIONS (L X W X H)	5.25 in x 3.35 in x 1.00 in (13.33 cm x 8.50 cm x 2.54 cm)		9.50 in x 6.25 in x 3.75 in (240 mm x 160 mm x 95 mm)
WEIGHT	0.44 lb (0.20 kg)		3.10 lb (1.41 kg)
STATUS LEDS	Ethernet status, Power, Cellular link/activity, Signal strength (4 bars), Digi XBee link/activity		
ENCLOSURE MATERIAL	Industrial (metal)		NEMA 4X
ENCLOSURE RATING	N/A		IP66
MOUNTING	Wall-mount bracket sold separately	DIN rail bracket included	4x mounting feet on the unit's flange
ENVIRONMENTAL			
OPERATING TEMPERATURE ***	-30° C to +75° C (-22 F to +167 F)		
STORAGE TEMPERATURE	-40 to +85C		
RELATIVE HUMIDITY	5% to 95% (non-condensing)		N/A (enclosure is water-tight)
ETHERNET ISOLATION	1500 VAC min per IEEE 802.3/ANSI X3.263		
SERIAL PORT PROTECTION (ESD)	+15 kV Air Gap and +8 kV contact discharge per IEC 1000-4-2		
HAZARDOUS (CLASS 1 DIV 2)	No	Yes	No
APPROVALS			
GSM/UMTS	PTCRB, NAPRD.03, GCF-CC, R&TTE, EN 301 511		
CDMA/EV-DO	CDG, TIA/EIA-690, TIA/EIA-98-E		
CELLULAR CARRIERS	Certified by most major carriers. See www.digi.com for current listing.		
SAFETY	UL 60950, CSA 22.2 No. 60950, EN60950; Class 1 Div 2 (IA model only)		
EMISSIONS/IMMUNITY	CE, FCC Part 15 (Class A), AS/NZS CISPR 22, EN55024, EN55022, Class A		
WARRANTY			
PRODUCT WARRANTY	5 years		

* Optional hardware

** Transfer rates are network operator dependent

*** Reduced cellular performance may occur above +60° C. Standard Temperature power supplies may reduce temperature range.

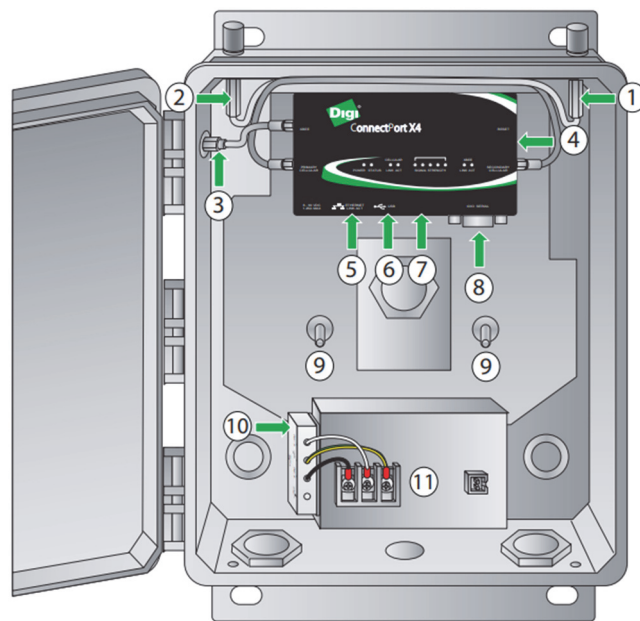
WWW.DIGI.COM



ANEXO 11. MONTAJE DE CONTROLADOR DE SEGMENTO - CONNECTPORT®X4.

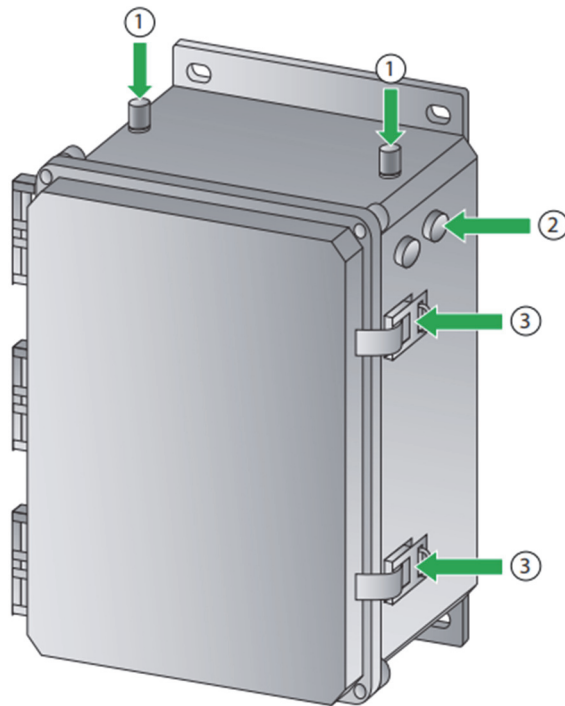
- Interior

1. Cable de la antena celular primaria
2. Cable de la antena celular secundaria
3. Cable de la antena XBee
4. Ranura SIM
5. Puerto Ethernet
6. Puerto USB
7. Puerto del sensor
8. Conector RS232 / RS485
9. Conexión a tierra protegida
10. Protector contra sobretensiones
11. Cableado de CA Bloque de terminales / tierra de tierra protegida (PE)



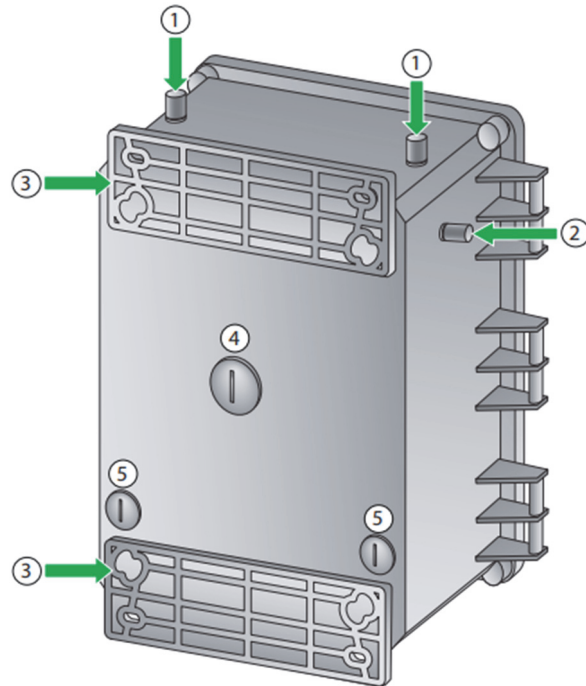
- **Vista frontal**

1. Conector TNC (Threaded Neill Concelman) de la antena celular
2. Tapón de ventilación
3. Cerrojo de bloqueo



- **Vista posterior**

1. Conector TNC de la antena celular
2. Conector TNC de la antena *XBee*
3. Soporte de montaje
4. Orificio del conducto de 1"
5. Orificio del conducto de 1/2"

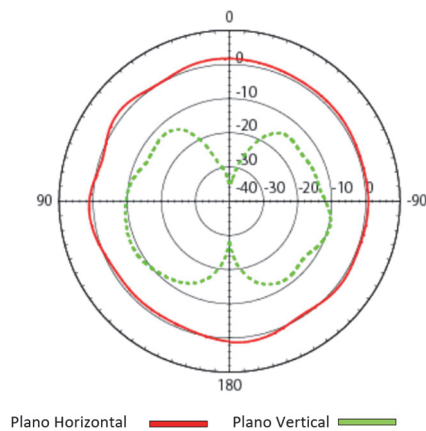


ANEXO 12. ANTENA: DC-ANT-24DP – PARA CONNECTPORT®X4.

Digi 2.4 GHz, Antena Dipolo con ganancia de 2dBi



Patrón de radiación



Detalles de la antena

Descripción	Dipolo
Modelo	DC-ANT-24DP
Frecuencia (GHz)	2.4-2.5
Potencia de salida (W)	2
Ganancia (dBi)	2
Razón de onda estacionaria (ROE)	$< \rho = 2.0$
Dimensión (mm)	10 x 108.5
Peso (g)	10.5
Conector	RP- (SMA)

ANEXO 13. ANTENA: A24-HASM-450-ND - PARA CONTROLADOR DE LUMINARIA.



Detalles de la antena

Descripción	Dipolo de media onda
Modelo	A24-HASM-525
Frecuencia (GHz)	2.4-2.5
Ganancia (dBi)	2.1
Conector	RP- (SMA)

ANEXO 14. MONTAJE DE ANTENA UBIQUITI NANOSTATION LOCO M2 PARA LECTURA DEL ESPECTRO EN LA BANDA ISM EN 2.4 GHZ.



**ANEXO 15. PLANO DE SEGMENTACIÓN DE CONTROLADORES DE
LUMINARIAS PARA CONTROLADORES DE SEGMENTO.**

ANEXO 16. DETALLE DE SEGMENTACIÓN DE CONTROLADORES DE LUMINARIAS PARA CONTROLADORES DE SEGMENTO.

Detalle de segmentación de controladores de luminarias para controladores de segmento					
SeCo	Elementos	Código Luminaria LUM_	Principal	Desde	Hasta
SeCo - 1	1..4	1..4	Av. Universitaria	18 de Noviembre	J. Rodríguez
	5..8	5..8	Av. Universitaria	J. Rodríguez	J. de Salinas
	9..11	9..11	Av. Universitaria	J. de Salinas	J. Félix Valdivieso
	12..14	12..14	Av. Universitaria	J. Félix Valdivieso	Quito
	15..17	357..359	18 de Noviembre	Av. Universitaria	J. Rodríguez
	18..19	360..361	18 de Noviembre	J. Rodríguez	Juan de Salinas
	20..22	362..364	18 de Noviembre	Juan de Salinas	José F. Valdivieso
	23..24	365..366	18 de Noviembre	José F. Valdivieso	Quito
	25..29	446..450	Antonio José de Sucre	Av. Emiliano O.	J. de Salinas
	30..31	451..452	Antonio José de Sucre	J. de Salinas	J. Félix Valdivieso
	32..34	453..455	Antonio José de Sucre	J. Félix Valdivieso	Quito
	35..38	532..535	Manuel Toledo	Av. Emiliano O.	Juan de Salinas
	39..42	536..538	Simón Bolívar	Av. Emiliano O.	Juan de Salinas
	42..43	539..540	Simón Bolívar	Juan de Salinas	José F. Valdivieso
	44..46	541..543	Simón Bolívar	José F. Valdivieso	Quito
	47..48	642..643	Bernardo Valdivieso	J. de Salinas	José F. Valdivieso
	49..51	644..646	Bernardo Valdivieso	José F. Valdivieso	Quito
	52..56	838..842	Av. E. Ortega	Av. Universitaria	M. Toledo
	57..59	843..845	Av. E. Ortega	M. Toledo	Bolívar
	60..63	846..849	Av. E. Ortega	Bolívar	J. de Salinas
	64..66	850..852	Av. E. Ortega	J. de Salinas	J. Félix Valdivieso
	67..69	853..855	Av. E. Ortega	J. Félix Valdivieso	Quito
	70..72	70..72	Pasaje Rodríguez	Av. Universitaria	18 de Noviembre
	73..76	73..76	Juan de Salinas	Av. Universitaria	18 de Noviembre
	77..80	77..80	Juan de Salinas	18 de Noviembre	Sucre
	81..84	81..84	Juan de Salinas	Sucre	Bolívar
	85..87	85..87	Juan de Salinas	Bolívar	Av. E. Ortega
	88,89	88,89	C-10-15	18 de Noviembre	
	90..92	90..92	José Félix	Av. Universitaria	18 de Noviembre
	93..95	93..95	José Félix	18 de Noviembre	Sucre
	96..98	96..98	José Félix	Sucre	Bolívar
	99..100	99..100	José Félix	Bolívar	Bernardo Valdivieso
101	101	José Félix	Bernardo Valdivieso	Av. Emiliano O.	
SeCo	1..4	15..18	Av. Universitaria	Quito	Imbabura
	5..7	19..21	Av. Universitaria	Imbabura	Colón

	8..10	367..369	18 de Noviembre	Quito	Imbabura
	11..13	370..372	18 de Noviembre	Imbabura	Colon
	14..16	456..458	Antonio José de Sucre	Quito	Imbabura
	17..19	459..461	Antonio José de Sucre	Imbabura	Colón
	20..22	544..546	Simón Bolívar	Quito	Imbabura
	23..25	547..549	Simón Bolívar	Imbabura	Colon
	26..28	647..649	Bernardo Valdivieso	Quito	Imbabura
	29..31	650..652	Bernardo Valdivieso	Imbabura	Colon
	32	722	José Joaquín de Olmedo	Av. Emiliano O.	Imbabura
	33..35	723..725	José Joaquín de Olmedo	Imbabura	Colon
	36	755	Juan José Peña	Av. Emiliano O.	Colon
	37..40	856..859	Av. E. Ortega	Quito	Olmedo
	41	860	Av. E. Ortega	Olmedo	Imbabura
	42	861	Av. E. Ortega	Imbabura	P. Salcedo
	43	862	Av. E. Ortega	P. Salcedo	J. J. Peña
	44..45	863..864	Av. E. Ortega	Imbabura	J. J. Peña
	46..47	865..866	Av. E. Ortega	J. J. Peña	Colón
	48..50	102..104	Quito	Av. Universitaria	18 de Noviembre
	51..53	105..107	Quito	18 de Noviembre	Sucre
	54..56	108..110	Quito	Sucre	Bolívar
	57..58	111..112	Quito	Bolívar	B. Valdivieso
	59..60	113..114	Quito	B. Valdivieso	Av. E. Ortega
	61..63	115..117	Imbabura	Av. Universitaria	18 de Noviembre
	64..66	118..120	Imbabura	18 de Noviembre	Sucre
	67..69	121..123	Imbabura	Sucre	Bolívar
	70..71	124..125	Imbabura	Bolívar	Bernardo Valdivieso
	72..74	126..128	Imbabura	Bernardo Valdivieso	Olmedo
	75	129	Imbabura	Olmedo	Av. Emiliano O.
	76..77	905..906	C-02-11 (Pasaje Salcedo)	Av. Emiliano O.	
	78..80	130..132	Colon	Av. Universitaria	18 de Noviembre
	81..83	133..135	Colon	18 de Noviembre	Sucre
	84..86	136..138	Colon	Sucre	Bolívar
	87..89	139..141	Colon	Bolívar	Bernardo Valdivieso
	90..92	142..144	Colon	Bernardo Valdivieso	Olmedo
	93..95	145..147	Colon	Olmedo	Juan José Peña
SeCo - 3	1..4	22..25	Av. Universitaria	Colón	J. A. Eguiguren
	5..7	26..28	Av. Universitaria	J. A. Eguiguren	10 de Agosto
	8..11	29..32	Av. Universitaria	10 de Agosto	Rocafuerte
	12..15	33..36	Av. Universitaria	Rocafuerte	M. Riofrío
	16..18	189..191	5 de Junio (Eloy Alfaro)	10 de Agosto	Rocafuerte
	19..21	373..375	18 de Noviembre	Colon	J. A. Eguiguren
	22..23	376..377	18 de Noviembre	J. A. Eguiguren	10 de Agosto

	24..27	378..381	18 de Noviembre	10 de Agosto	Rocafuerte
	28..30	382..384	18 de Noviembre	Rocafuerte	Miguel Riofrío
	31..33	462..464	Antonio José de Sucre	Colón	J. A. Eguiguren
	34..37	465..468	Antonio José de Sucre	J. A. Eguiguren	10 de Agosto
	38..42	469..473	Antonio José de Sucre	10 de Agosto	Rocafuerte
	43..47	474..478	Antonio José de Sucre	Rocafuerte	M. Riofrío
	48..50	550..552	Simón Bolívar	Colon	J. A. Eguiguren
	51..53	553..555	Simón Bolívar	J. A. Eguiguren	10 de Agosto
	54..58	556..560	Simón Bolívar	10 de Agosto	Rocafuerte
	59..62	561..564	Simón Bolívar	Rocafuerte	Miguel Riofrío
	63..65	148..150	J. A. Eguiguren	Av. Universitaria	18 de Noviembre
	66..68	151..153	J. A. Eguiguren	18 de Noviembre	Sucre
	69..71	154..156	J. A. Eguiguren	Sucre	Bolívar
	72..74	157..159	J. A. Eguiguren	Bolívar	Bernardo Valdivieso
	75..77	169..171	10 de Agosto	Av. Universitaria	18 de Noviembre
	78	172	10 de Agosto	Av. Universitaria	Eloy Alfaro
	79..81	173..175	10 de Agosto	Eloy Alfaro	18 de Noviembre
	82..84	176..178	10 de Agosto	Bolívar	Bernardo Valdivieso
	85..86	192..193	Vicente Rocafuerte	Av. Universitaria	Eloy Alfaro
	87..89	194..196	Vicente Rocafuerte	18 de Noviembre	Sucre
	90..92	197..199	Vicente Rocafuerte	Sucre	Bolívar
	93..94	200..201	Vicente Rocafuerte	Bolívar	B. Valdivieso
	95..97	214..216	Miguel Riofrío	Av. Universitaria	18 de Noviembre
	98..99	217..218	Miguel Riofrío	18 de Noviembre	Sucre
	100..103	219..222	Miguel Riofrío	Sucre	Bolívar
	104..105	223..224	Miguel Riofrío	Bolívar	Bernardo Valdivieso
SeCo - 4	1..3	653..655	Bernardo Valdivieso	Colon	J. A. Eguiguren
	4..6	656..658	Bernardo Valdivieso	J. A. Eguiguren	10 de Agosto
	7..12	659..664	Bernardo Valdivieso	10 de Agosto	Rocafuerte
	13..17	665..669	Bernardo Valdivieso	Rocafuerte	Miguel Riofrío
	18..20	726..728	José Joaquín de Olmedo	Colon	J. A. Eguiguren
	22	730	José Joaquín de Olmedo	J. A. Eguiguren	10 de Agosto
	23..25	731..733	José Joaquín de Olmedo	10 de Agosto	Rocafuerte
	26..28	734..736	José Joaquín de Olmedo	Rocafuerte	Miguel Riofrío
	29..31	756..758	Juan José Peña	Colon	J. A. Eguiguren
	32..33	759..760	Juan José Peña	J. A. Eguiguren	10 de Agosto
	34..36	761..763	Juan José Peña	10 de Agosto	Rocafuerte
	37..39	764..766	Juan José Peña	Rocafuerte	Miguel Riofrío
	40	796	Av. 24 de Mayo	Av. Emiliano O.	J. A. Eguiguren
	41..43	797..799	Av. 24 de Mayo	J. A. Eguiguren	10 de Agosto
	44..46	800..802	Av. 24 de Mayo	10 de Agosto	Rocafuerte
	47..49	803..805	Av. 24 de Mayo	Rocafuerte	Miguel Riofrío
	50..52	818..820	Macará	Rocafuerte	Miguel Riofrío
	53..55	867..869	Av. E. Ortega	Colón	24 de Mayo
	56..60	870..874	Av. E. Ortega	24 de Mayo	10 de Agosto

	61..64	875..878	Av. E. Ortega	10 de Agosto	Rocafuerte
	65..68	879..882	Av. E. Ortega	Rocafuerte	M. Riofrío
	69..71	781..783	Pasaje Vivar	Juan José Peña	
	72..73	784..785	Pasaje Bustamante (E. Aguirre)	J.A. Eguiguren	
	74..75	786..787	Pasaje Bustamante (E. Aguirre)	J.J. Peña	
	76..78	160..162	J. A. Eguiguren	Bernardo Valdivieso	Olmedo
	79..81	163..165	J. A. Eguiguren	Olmedo	J.J. Peña
	82..84	166..168	J. A. Eguiguren	J.J. Peña	24 de Mayo
	85..87	179..181	10 de Agosto	Bernardo Valdivieso	Olmedo
	88..90	182..184	10 de Agosto	Olmedo	J.J. Peña
	91..93	185..187	10 de Agosto	J.J. Peña	24 de Mayo
	94	188	10 de Agosto	24 de Mayo	Av. Emiliano O.
	95..97	202..204	Vicente Rocafuerte	B. Valdivieso	Olmedo
	98..100	205..207	Vicente Rocafuerte	Olmedo	J. J. Peña
	101..102	208..209	Vicente Rocafuerte	J. J. Peña	P. Sinchona
	103	210	Vicente Rocafuerte	P. Sinchona	24 de Mayo
	104..105	211..212	Vicente Rocafuerte	24 de Mayo	Macará
	106	213	Vicente Rocafuerte	Macará	Av. E. Ortega
	107..109	225..227	Miguel Riofrío	Bernardo Valdivieso	Olmedo
	110..112	228..230	Miguel Riofrío	Olmedo	J.J. Peña
	113..114	231..232	Miguel Riofrío	J.J. Peña	Pasaje Sinchona
	115	233	Miguel Riofrío	Pasaje Sinchona	24 de Mayo
	116..117	234..235	Miguel Riofrío	24 de Mayo	Macara
	118..119	236..237	Miguel Riofrío	Macara	Av. E. Ortega
SeCo - 5	1..3	37..39	Av. Universitaria	M. Riofrío	Azuay
	4..6	40..42	Av. Universitaria	Azuay	Mercadillo
	7..10	43..46	Av. Universitaria	Mercadillo	Lourdes
	11..14	47..50	Av. Universitaria	Lourdes	Catacocha
	15..17	385..387	18 de Noviembre	Miguel Riofrío	Azuay
	18..20	388..390	18 de Noviembre	Azuay	Mercadillo
	21..23	391..393	18 de Noviembre	Mercadillo	Lourdes
	24..26	394..396	18 de Noviembre	Lourdes	Catacocha
	27..31	479..483	Antonio José de Sucre	M. Riofrío	Azuay
	32..36	484..488	Antonio José de Sucre	Azuay	Mercadillo
	37..39	489..491	Antonio José de Sucre	Mercadillo	Lourdes
	40..43	492..495	Antonio José de Sucre	Lourdes	Catacocha
	44..48	565..569	Simón Bolívar	Miguel Riofrío	Azuay
	49..52	570..573	Simón Bolívar	Azuay	Mercadillo
	53..55	574..576	Simón Bolívar	Mercadillo	Lourdes
	56..58	577..579	Simón Bolívar	Lourdes	Catacocha
	59..63	670..674	Bernardo Valdivieso	Miguel Riofrío	Azuay
64..68	675..679	Bernardo Valdivieso	Azuay	Mercadillo	
69..70	238..239	Azuay	Av. Universitaria	18 de Noviembre	

	71..73	240..242	Azuay	18 de Noviembre	Sucre
	74..76	243..245	Azuay	Sucre	Bolívar
	77..78	246..247	Azuay	Bolívar	Bernardo Valdivieso
	79..80	262..263	Mercadillo	Av. Universitaria	18 de Noviembre
	81..83	264..266	Mercadillo	18 de Noviembre	Sucre
	84..86	267..269	Mercadillo	Sucre	Bolívar
	87..88	270..271	Mercadillo	Bolívar	Bernardo Valdivieso
	89..90	283..284	Lourdes	Av. Universitaria	18 de Noviembre
	91..93	285..827	Lourdes	18 de Noviembre	Sucre
	94..96	288..290	Lourdes	Bolívar	Bernardo Valdivieso
	97..98	306..307	Catacocha	Av. Universitaria	18 de Noviembre
	99..100	308..309	Catacocha	18 de Noviembre	Sucre
	101..103	310..312	Catacocha	Sucre	Bolívar
	104..105	313..314	Catacocha	Bolívar	Bernardo Valdivieso
SeCo - 6	1..3	680..682	Bernardo Valdivieso	Mercadillo	Lourdes
	4..6	683..685	Bernardo Valdivieso	Lourdes	Catacocha
	7	686	Bernardo Valdivieso (Pasaje)	Lourdes	Catacocha
	8..10	687..689	Bernardo Valdivieso	Catacocha	Cariamanga
	11..17	690..696	González Suarez	Bernardo Valdivieso	Olmedo
	18..20	737..739	José Joaquín de Olmedo	Miguel Riofrío	Azuay
	21..23	740..742	José Joaquín de Olmedo	Azuay	Mercadillo
	24..26	743..745	José Joaquín de Olmedo	Mercadillo	Lourdes
	27..29	746..748	José Joaquín de Olmedo	Lourdes	Catacocha
	30..31	749..750	José Joaquín de Olmedo	Catacocha	Andrés Bello
	32..35	751..754	José Joaquín de Olmedo	Andrés Bello	González Suarez
	36..38	767..769	Juan José Peña	Miguel Riofrío	Azuay
	39..41	770..772	Juan José Peña	Azuay	Mercadillo
	42..44	773..775	Juan José Peña	Mercadillo	Lourdes
	45..47	776..778	Juan José Peña	Lourdes	Catacocha
	48..49	779..780	Juan José Peña	Catacocha	Andrés Bello
	50..52	790..792	Pasaje Sinchona	Rocafuerte	Miguel Riofrío
	53..55	793..795	Pasaje Sinchona	Miguel Riofrío	Azuay
	56..58	248..250	Azuay	Bernardo Valdivieso	Olmedo
	59..61	251..253	Azuay	Olmedo	J.J.Peña
	62..64	254..256	Azuay	J.J.Peña	24 de Mayo
	65..67	272..274	Mercadillo	Bernardo Valdivieso	Olmedo
	68..70	275..277	Mercadillo	Olmedo	J.J. Peña
	71..73	278..280	Mercadillo	J.J. Peña	24 de Mayo
	74..75	788..789	Pasaje Espíndola	Juan José Peña	
	76..78	291..293	Lourdes	Bernardo Valdivieso	Olmedo
	79..81	294..296	Lourdes	Olmedo	J.J. Peña
	82..84	297..299	Lourdes	J.J. Peña	24 de Mayo
	85..87	701..703	Leopoldo Palacios	Bernardo Valdivieso	Olmedo
	88..90	704..706	Leopoldo Palacios	Olmedo	J.J. Peña

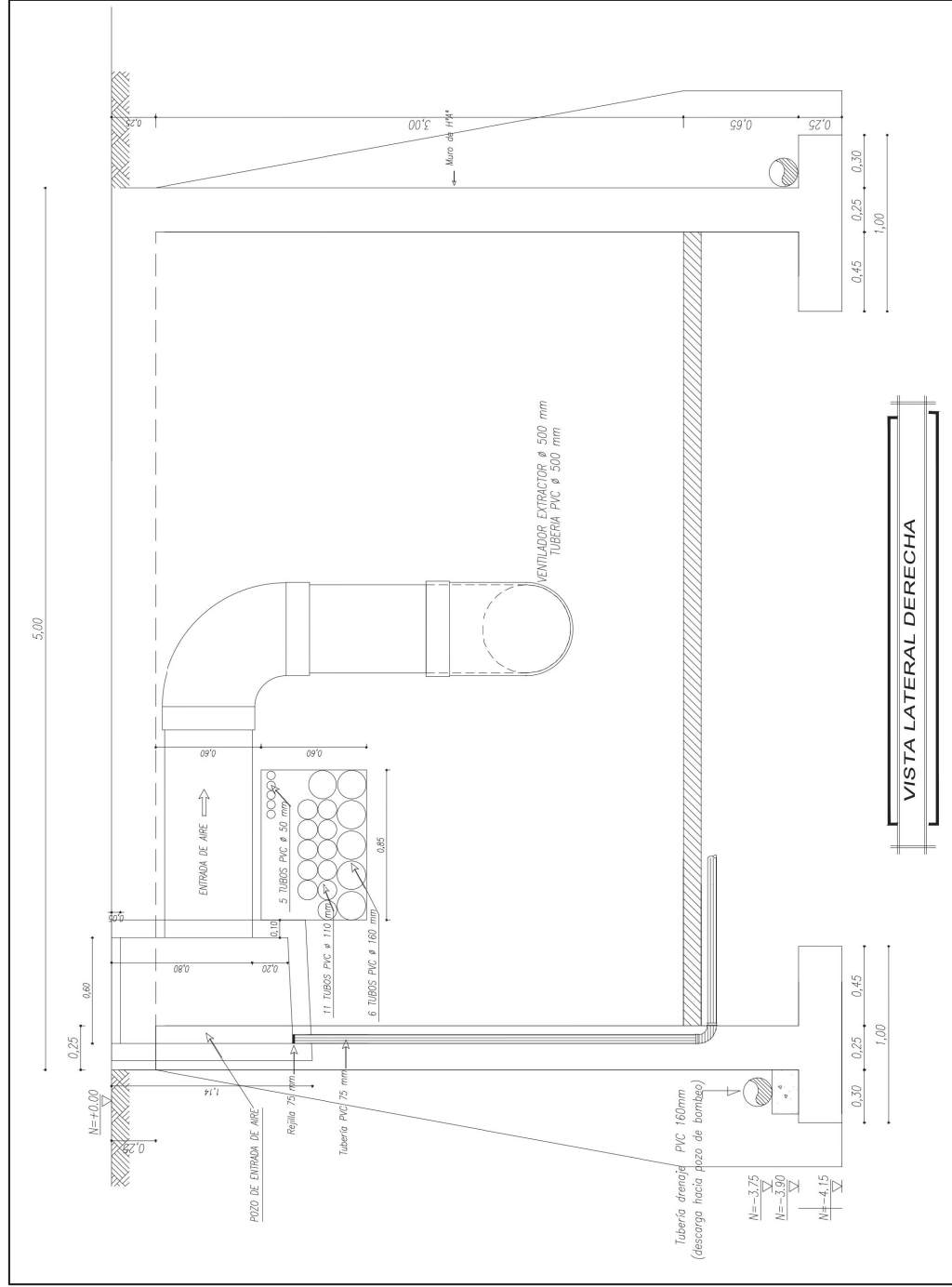
	91..93	707..709	Leopoldo Palacios	J.J. Peña	24 de Mayo
	94..96	716..718	Andrés Bello	Bernardo Valdivieso	Olmedo
	97..99	719721	Andrés Bello	Olmedo	Juan José Peña
	100..102	315..317	Catacocha	Bernardo Valdivieso	Olmedo
	103..105	318..320	Catacocha	Olmedo	J.J. Peña
	106..107	321..322	Catacocha	J.J. Peña	Leopoldo Palacios
SeCo - 7	1..3	806..808	Av. 24 de Mayo	Miguel Riofrío	Azuay
	4..6	809..811	Av. 24 de Mayo	Azuay	Mercadillo
	7..9	812..814	Av. 24 de Mayo	Mercadillo	Lourdes
	10..12	815..817	Av. 24 de Mayo	Lourdes	Catacocha
	13..15	821..823	Macará	Miguel Riofrío	Azuay
	16..18	824..826	Macará	Azuay	Mercadillo
	19..21	827..829	Macará	Mercadillo	Lourdes
	22..24	907..909	Matilde Hidalgo	Lourdes	J. Egas
	25..26	910..911	Matilde Hidalgo	J. Egas	M. Cañizares
	27	912	Matilde Hidalgo	M. Cañizares	Av. E. Ortega
	28..31	883..886	Av. E. Ortega	M. Riofrío	Azuay
	32..43	887..898	Av. E. Ortega	Azuay	Lourdes
	44..45	899..900	Av. E. Ortega	Lourdes	J. Egas
	46..49	901..904	Av. E. Ortega	J. Egas	M. Cañizares
	50..51	257..258	Azuay	24 de Mayo	Macara
	52..54	259..261	Azuay	Macara	Av. Emiliano O.
	55..56	281..282	Mercadillo	24 de Mayo	Macará
	57..58	300..301	Lourdes	24 de Mayo	Macara
	59	302	Lourdes	Macara	Sabiango
	60..61	303..604	Lourdes	Sabiango	Matilde Hidalgo
	62	305	Lourdes	Matilde Hidalgo	Av. Emiliano O.
	63..64	710..711	Leopoldo Palacios	24 de Mayo	Macara
	65	712	Leopoldo Palacios	Macara	Sabiango
	66..67	713..714	Leopoldo Palacios	Sabiango	P. Chorrillos
	68	715	Leopoldo Palacios	P. Chorrillos	Catacocha
	69	323	Catacocha	J.J. Peña	Leopoldo Palacios
	70..75	324..329	Catacocha	J.J. Peña	Leopoldo Palacios
	76..77	830..931	Macará	Lourdes	Leopoldo Palacios
	78..80	832..834	Sabiango	Lourdes	Leopoldo Palacios
	81..83	835..837	Pasaje Chorrillos	Sabiango	Leopoldo Palacios
84..85	913..914	J. Egas	Matilde Hidalgo	Av. Emiliano O.	
SeCo - 8	1..3	51..53	Av. Universitaria	Catacocha	Cariamanga
	4..7	54..57	Av. Universitaria	Cariamanga	Celica
	8..12	58..62	Av. Universitaria	Celica	Gonzanamá
	13..15	397..399	18 de Noviembre	Catacocha	Cariamanga
	16..18	400..402	18 de Noviembre	Cariamanga	Celica
	19..23	403..407	18 de Noviembre	Celica	Gonzanamá
	24..25	496..497	Antonio José de Sucre	Catacocha	Cariamanga
	26..29	498..501	Antonio José de Sucre	Cariamanga	Celica

	30..33	502..505	Antonio José de Sucre	Celica	Gonzanamá
	34..37	506..509	Antonio José de Sucre	Gonzanamá	Saraguro
	38	510	Antonio José de Sucre	Saraguro	Chile
	39..41	580..582	Simón Bolívar	Catacocha	Cariamanga
	42..45	583..586	Simón Bolívar	Cariamanga	Celica
	46..47	587..588	Av. E. Kingman	Celica	Gonzanamá
	48..50	589..591	Av. E. Kingman	Gonzanamá	Saraguro
	51..56	600..605	Av. E. Kingman	Sozoranga	Gonzanamá
	57..62	606..611	Av. E. Kingman	Gonzanamá	Saraguro
	63..64	628..629	Av. E. Kingman	Sozoranga	Gonzanamá
	65..67	630..632	Av. E. Kingman	Gonzanamá	Saraguro
	68..69	697..698	Sozoranga	B. Valdivieso	Celica
	70..71	699..700	Sozoranga	Celica	Av. E. Kingman
	72..73	330..331	Cariamanga	Av. Universitaria	18 de Noviembre
	74..75	332..333	Cariamanga	18 de Noviembre	Sucre
	76..78	334..336	Cariamanga	Sucre	Bolívar
	79..80	337..338	Cariamanga	Bolívar	Bernardo Valdivieso
	81..82	339..340	Celica	Av. Universitaria	18 de Noviembre
	83..84	341..342	Celica	18 de Noviembre	Sucre
	85..87	343..345	Celica	Sucre	Bolívar
	88..89	346..347	Gonzanamá	Av. Universitaria	18 de Noviembre
	90..91	348..349	Gonzanamá	18 de Noviembre	Sucre
	92..94	350..352	Gonzanamá	Sucre	Av. Eduardo Kingman
	95	426	Saraguro	Zapotillo	Sucre
	96..98	427..429	Saraguro	Sucre	Av. E. Kingman
SeCo - 9	1..7	63..69	Av. Universitaria	Gonzanamá	Chile
	8..12	408..412	18 de Noviembre	Gonzanamá	Chile
	13..22	413..422	18 de Noviembre	Chile	Av. Gobernación de Mainas
	23	511	Antonio José de Sucre	Saraguro	Chile
	24	512	Antonio José de Sucre	Chile	Alamor
	25..26	513..514	Antonio José de Sucre	Alamor	Amaluza
	27..29	515..517	Antonio José de Sucre	Amaluza	Catamayo
	30..31	518..519	Antonio José de Sucre	Catamayo	Chaguarpamba
	32..34	520..522	Antonio José de Sucre	Chaguarpamba	G. de Mainas
	35..36	592..593	Av. E. Kingman	Saraguro	Alamor
	37	594	Av. E. Kingman	Alamor	Amaluza
	38..39	595..596	Av. E. Kingman	Amaluza	Catamayo
	40..42	597..499	Av. E. Kingman	Catamayo	G. de Mainas
	43..44	612..613	Av. E. Kingman	Saraguro	Alamor
	45..48	614..617	Av. E. Kingman	Alamor	Amaluza
	49..50	618..619	Av. E. Kingman	Amaluza	Catamayo
	51..56	620..625	Av. E. Kingman	Catamayo	Acacias
	57..58	626..627	Av. E. Kingman	Acacias	G. de Mainas
	59..60	633..634	Av. E. Kingman	Saraguro	Alamor







61	635	Av. E. Kingman	Alamor	Amaluzza
62..63	636..637	Av. E. Kingman	Amaluzza	Catamayo
64..66	638..640	Av. E. Kingman	Catamayo	Acacias
67	641	Av. E. Kingman	Acacias	G. de Mainas
68..71	430..433	Zapotillo	Saraguro	Chile
72..74	423..425	Saraguro	18 de Noviembre	Zapotillo
		Saraguro	Zapotillo	Sucre
75..78	353..356	Chile	Av. Universitaria	Sucre
79..81	525..527	Alamor	Sucre	Av. E. Kingman
82..83	528..529	Amaluzza	Sucre	Av. Gobernación de Mainas
84..85	530..531	Catamayo	Sucre	Av. Gobernación de Mainas
86..87	523..524	Chaguarpamba	Sucre	Av. Gobernación de Mainas
88..90	434..436	Av. Gobernación de Mainas	18 de Noviembre	Chaguarpamba
91..93	437..439	Av. Gobernación de Mainas	Chaguarpamba	Av. Eduardo Kingman
94..95	440..441	Av. Gobernación de Mainas	18 de Noviembre	Crisantemos
96..97	442..443	Av. Gobernación de Mainas	Crisantemos	Pindal
98..99	444..445	Av. Gobernación de Mainas	Pindal	Av. Eduardo Kingman

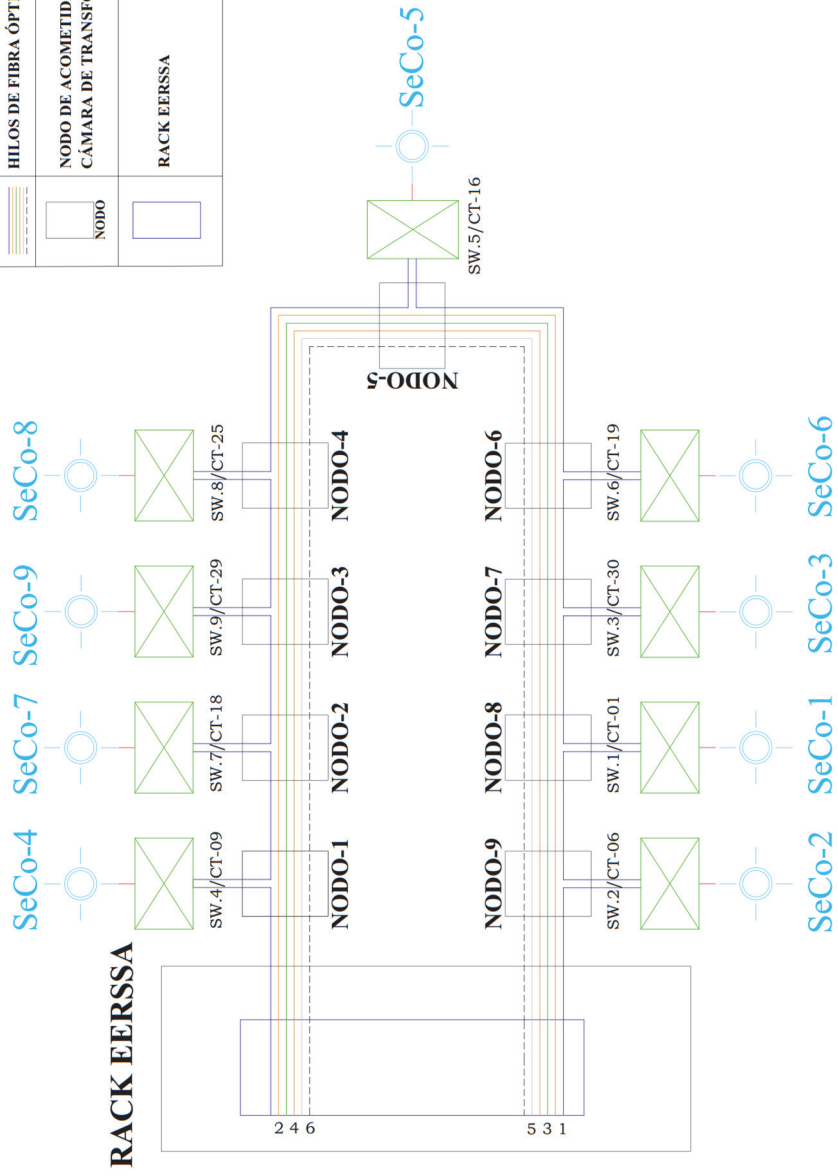
ANEXO 17. PLANO DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN ÓPTICA.

ANEXO 18. VISTA LATERAL - CÁMARA TIPO DE TRANSFORMACIÓN EN CALZADA.



ANEXO 19. DIAGRAMA DE HILOS.

SIMBOLOGÍA	
	CONTROLADOR DE SEGMENTO
	SWITCH DE ACCESO
	CABLE UTP CAT-6a
	HILOS DE FIBRA ÓPTICA G.652D
	NODO DE ACOMETIDA EN CÁMARA DE TRANSFORMACIÓN
	RACK EERSSA



ANEXO 20. OFICIO NRO. EERSSA-GEOPE-2018-0127-OF



Ministerio
de Electricidad
y Energía Renovable



Oficio Nro. EERSSA-GEOPE-2018-0127-OF

Loja, 28 de agosto de 2018

Asunto: atención al Oficio Nro. 83 CIEYT-FEIRNNR-UNL del 26 de julio de 2018

Ingeniero
Andy Fabricio Vega León
En su Despacho

De mi consideración:

En atención al Oficio Nro. 83 CIEYT-FEIRNNR-UNL del 26 de julio de 2018, mediante el cual, solicita información técnica referida a la situación actual de la red de Alumbrado Público de la EERSSA, específicamente en la zona que compete al proyecto de Regeneración Urbana de la ciudad de Loja, con el fin de desarrollar la tesis "*Diseño de una red de telemetría para gestión del sistema de alumbrado público del área de Regeneración Urbana de la ciudad de Loja*", la misma, que será llevada a cabo por el estudiante Brian Romero; se da contestación a las siguientes preguntas planteadas:

1.- ¿Qué tipo de luminarias se encuentran instaladas en la actualidad?

En la actualidad se encuentran instaladas luminarias de vapor de sodio.

2.- ¿En qué fecha fueron instaladas las lámparas?

Las luminarias ubicadas en la zona del proyecto de Regeneración Urbana fueron instaladas aproximadamente hace 25 años.

3.- ¿Cuál es el gasto anual que representa el mantenimiento del sistema de alumbrado público que se encuentra funcionando?

Este gasto representa aproximadamente USD 6,500.00 dólares, incluye IVA.

4.- ¿Con qué frecuencia existe la necesidad de hacer un mantenimiento a las luminarias?

Los trabajos de mantenimiento de alumbrado público requiere una periodicidad de ejecución de 20 meses aproximadamente.

5.- ¿Con qué frecuencia es necesario el reemplazo de una luminaria?

Es necesario reemplazar una luminaria, cuando la misma haya cumplido su vida útil (aproximadamente 10 años en luminarias de vapor de sodio).

Oficio Nro. EERSSA-GEOPE-2018-0127-OF

Loja, 28 de agosto de 2018

6.-¿Cuál es el consumo anual de potencia de las luminarias que se encuentran instaladas, y, de cuanto es el gasto que este representa para la empresa?

Para el área de influencia de la Regeneración Urbana, la energía anual consumida por las luminarias es de aproximadamente 1,089.2 MWh; el costo de cada kWh para alumbrado público es proporcionado por la ARCONEL y varía mensualmente, para el presente análisis, se toma el dato de junio de 2018 que corresponde a 0.9730 centavos de dólar americano, con lo cual se calcula que a la energía indicada anteriormente le corresponde un costo de 10,597.00 dólares anualmente.

7.-¿Qué espera lograr con el nuevo sistema de alumbrado público?

El objeto fundamental es establecer los requisitos y medidas que deben de cumplir los sistemas de iluminación y alumbrado público general, para garantizar:

- Seguridad en las personas utilizando los niveles y calidad de la energía lumínica, requerida en la actividad visual.
- Eficiencia y ahorro energético.
- Modernización en los sistemas de gestión.
- Preservación del medio ambiente.
- Fijar las condiciones para evitar: accidentes, desperdicio de iluminación, alteraciones en los ciclos naturales en los animales y deslumbramiento
- Mejorar tiempos de respuesta en la operación y mantenimiento

Con sentimientos de distinguida consideración.

Atentamente,

Ing. Nelson Ricardo Sanmartín González
GERENTE DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO, SUBROGANTE

Anexos:
- Oficio Nro. 83 CIEYT-FEIRNNR-UNL

Copia:
Señor Ingeniero
Leobardo Daniel Jaramillo
Superintendente de Operaciones y Mantenimiento Zona 1



Oficio Nro. EERSSA-GEOPE-2018-0127-OF

Loja, 28 de agosto de 2018

Señor Ingeniero
Juan Andres Bustamante Cuenca
Superintendente de Alumbrado Público Encargado, Subrogante

er/jb/ip