

**Implementación de un sistema de conectividad con la automatización eléctrica de
iluminación externa y medición de gases mediante tecnología IoT en una finca campestre
de Villavicencio**

Harol Yamith Valles Torres

Asesor

Paulita Flor Salazar

Escuela de Ciencias Básicas Tecnología e Ingeniería

Universidad Nacional Abierta y a Distancia

Ingeniería de Telecomunicaciones

2025

Tabla de Contenido

2

Introducción	7
Planteamiento del problema.....	8
Justificación	10
Objetivo general.....	12
Objetivos específicos	12
Marco conceptual y teórico.....	13
Marco conceptual:.....	13
Arquitectura de Redes WLAN y Cableadas	13
Monitoreo de Gases con Tecnología IoT:.....	14
Automatización Remota:.....	14
Radioenlace Punto a Punto:	15
Tipos de Redes y Direcciones IP	16
Marco teórico:.....	19
Estado del Arte.....	27
Metodología	29
Implementación Metodológica	33
Especificaciones técnicas	46
Planos	46
Evaluación del rendimiento de la conectividad	62
Plan de mantenimiento.....	63
Plan de mantenimiento correctivo.....	64
Plan de mantenimiento predictivo.....	64

Plan de mantenimiento preventivo.....	65 ³
Conclusiones	67
Referencias.....	69

Lista de Figuras

4

Figura 1 <i>Dispositivos Inalambricos</i>	13
Figura 2 <i>Metropolitan Area Networks</i>	14
Figura 3 <i>Harald Mühlböck</i>	14
Figura 4 <i>Tablas De Decibelios</i>	16
Figura 5 <i>Antena Parabólica</i>	18
Figura 6 <i>Modulo Relé Wifi</i>	18
Figura 7 <i>Lenguaje De Programación</i>	20
Figura 8 <i>Arduino</i>	21
Figura 9 <i>Encuesta 1 Y 2</i>	28
Figura 10 <i>Encuesta 3 Y 4</i>	29
Figura 11 <i>Encuesta 5</i>	29
Figura 12 <i>Encuesta 6 Y 7</i>	30
Figura 13 <i>Encuesta 8</i>	30
Figura 14 <i>Encuesta 9 Y 10</i>	31
Figura 15 <i>Encuesta 11</i>	32
Figura 16 <i>Enlace Simulacion</i>	32
Figura 17 <i>Enlace Simulacion</i>	33
Figura 18 <i>Delimitación De Finca</i>	34
Figura 19 <i>Mapeo Zonal De Niveles De Conectividad</i>	35
Figura 20 <i>Topología Electrónica En El Simulador Proteus</i>	36
Figura 21 <i>Configuración Wireless Antena Nanostationm5</i>	37
Figura 22 <i>Configuración Network Antena Nanostationm5</i>	38

Figura 23 <i>Interfaz Main Antena Nanostationm5</i>	395
Figura 24 <i>Configuración Wireless Antena Nanostation Loco M5</i>	40
Figura 25 <i>Configuración Network Antena Nanostation Loco M5</i>	41
Figura 26 <i>Interfaz Main Conexión Antenas Nanostation Loco M5 Y Nanostation M5</i>	42
Figura 27 <i>Teoría De Radioenlaces En Radiocomunicaciones.</i>	43
Figura 28 <i>Topología Radioenlace Simulador Cisco Packet Tracer</i>	44
Figura 29 <i>Prototipo De Conexión Para Iluminaria Externa</i>	45
Figura 30 <i>Montaje Electrónico Sistema De Iluminaria Externa</i>	45
Figura 31 <i>Prototipo Sistema De Medidor De Gas</i>	46
Figura 32 <i>Implementación Antena Nanostation Loco M5</i>	46
Figura 33 <i>Implementación Antena Nanostation M5</i>	47
Figura 34 <i>Interfaz De Enlace Nanostation Loco M5</i>	47
Figura 35 <i>Test De Velocidad Mediante Equipo Implementado En La Vivienda</i>	48
Figura 36 <i>Caja Proyecto Y Ubicación Sensor De Gas</i>	48
Figura 37 <i>Sensor De Gas E Interfaz Gráfica En Dispositivo Móvil</i>	49
Figura 38 <i>Visualización Física Y Digital De Alarma Por Presencia De Gas</i>	49
Figura 39 <i>Visualización De Panel De Alertas Establecidas Para Sensor De Gas</i>	50
Figura 40 <i>Notificaciones En Dispositivo Móvil Por Presencia De Gas</i>	50
Figura 41 <i>Caja De Proyecto Sistema De Iluminaria Externa</i>	51
Figura 42 <i>Interfaz En Dispositivo Móvil Para Activación Iluminaria Externa</i>	51
Figura 43 <i>Encendido Iluminaria 1 Mediante La Interfaz Móvil</i>	52
Figura 44 <i>Encendido Iluminaria 2 Mediante La Interfaz Móvil</i>	52
Figura 45 <i>Encendido Iluminaria 3 Mediante La Interfaz Móvil</i>	53

Figura 46 <i>Encendido Iluminaria 4 Mediante La Interfaz Móvil</i>	536
Figura 47 <i>Visualización De Iluminarias Externas E Interfaz Gráfica En Dispositivo Móvil</i>	54
Figura 48 <i>Encuesta 1 Y 2</i>	55
Figura 49 <i>Encuesta 3 Y 4</i>	55
Figura 50 <i>Encuesta 5 Y 6</i>	56
Figura 51 <i>Encuesta 7 Y 8</i>	56
Figura 52 <i>Encuesta 9 Y 10</i>	57
Figura 53 <i>Encuesta 11</i>	57

Introducción

La implementación de proyectos en el ámbito de la ingeniería electrónica y las telecomunicaciones demanda la creación de soluciones prácticas que integren eficiencia técnica, sostenibilidad y funcionalidad en entornos reales. En este sentido, el presente proyecto se desarrolla en una finca campestre ubicada en la vereda Barcelona, zona rural del municipio de Villavicencio – Meta, donde las limitaciones de conectividad representan un desafío para la incorporación de tecnologías inteligentes en los procesos cotidianos. El proyecto aplicado tiene como propósito integrar un sistema tecnológico que permita la supervisión y control remoto de la iluminación perimetral, así como la medición de gases presentes en el ambiente, garantizando así mayor seguridad, eficiencia y monitoreo ambiental. La propuesta combina herramientas de hardware y software, entre ellas Arduino, ESP32 y plataformas IoT, junto con entornos de simulación como Tinkercad, consolidando una arquitectura de automatización funcional adaptada a las condiciones rurales.

Planteamiento del Problema

El problema central identificado en este proyecto aplicado radica en la falta de conectividad a internet estable y de alta velocidad en zonas rurales, particularmente en una finca campestre ubicada en la vereda Barcelona, zona rural del municipio de Villavicencio – Meta. Esta limitación tecnológica restringe la posibilidad de incorporar soluciones inteligentes para la automatización eléctrica de la iluminación externa y la medición ambiental mediante sensores IoT, herramientas clave para mejorar la seguridad, la eficiencia energética y el monitoreo de las condiciones del entorno.

A pesar de los avances en infraestructura digital en las zonas urbanas del país, las áreas rurales continúan enfrentando brechas significativas de conectividad. En municipios como Villavicencio, muchas veredas dependen de conexiones inestables o inexistentes, lo que impide la integración de sistemas tecnológicos para la gestión remota de servicios básicos. Esta situación limita la capacidad de los propietarios rurales para optimizar el uso de recursos, fortalecer la productividad agrícola y mejorar la calidad de vida en sus entornos. Según el Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (2023), apenas una fracción de los hogares rurales en Colombia cuenta con acceso a internet de banda ancha, lo que refleja la persistente desigualdad digital entre el campo y la ciudad.

La problemática descrita no es reciente; responde a un fenómeno estructural derivado de la baja inversión en infraestructura tecnológica rural, motivada por la percepción de baja rentabilidad y las dificultades geográficas que incrementan los costos de instalación (DNP, 2022). En consecuencia, la población rural continúa rezagada en la

adopción de tecnologías emergentes, lo cual afecta su competitividad y su integración a la economía digital.

Ante este panorama, la presente investigación aplicada plantea el diseño e implementación de un sistema de conectividad inalámbrica y automatización eléctrica, que permita gestionar de forma remota la iluminación perimetral y un sistema de medición de gases de alerta temprana, mediante tecnología IoT (Internet of Things). Esta solución busca mejorar la eficiencia operativa, la seguridad y la sostenibilidad ambiental en la finca ubicada en la vereda Barcelona. Además, se pretende que el modelo sirva como una referencia replicable para otras zonas rurales del Meta, donde las condiciones de conectividad presentan características similares.

Justificación

La falta de conectividad en las zonas rurales de Colombia, especialmente en las fincas campestres del municipio de Villavicencio – Meta, constituye un desafío persistente que limita el desarrollo tecnológico, la eficiencia operativa y la adopción de herramientas digitales en el sector agropecuario. En la vereda Barcelona, donde se desarrollará el presente proyecto, la cobertura de internet es reducida y la calidad del servicio es deficiente, debido principalmente a la baja inversión en infraestructura de telecomunicaciones. Según el Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (2023), tan solo el 12,3 % de los hogares rurales del departamento del Meta cuenta con acceso a internet fijo o móvil de banda ancha, cifra que se ubica por debajo del promedio nacional del 18 %. Este déficit tecnológico impacta directamente la posibilidad de implementar sistemas de automatización o monitoreo remoto en los predios rurales.

El proyecto aplicado se justifica en la necesidad de diseñar e implementar una infraestructura de conectividad funcional, asequible y adaptada a las condiciones geográficas de la vereda Barcelona, que permita a los propietarios rurales gestionar y supervisar remotamente sus actividades mediante tecnologías IoT. En este contexto, la automatización eléctrica de la iluminación externa y la medición de gases ambientales representan una solución integral que busca mejorar la seguridad, optimizar y contribuir a la sostenibilidad ambiental de la finca.

El proyecto aplicado integra tecnologías de radioenlace punto a punto, módulos Wi-Fi y microcontroladores Arduino y ESP32, configurados para operar bajo una red de

Internet de las Cosas (IoT). Este enfoque responde a la limitada cobertura de redes tradicionales, ofreciendo una alternativa económica y de bajo mantenimiento para entornos rurales. De acuerdo con estudios del Departamento Nacional de Planeación (2022), los radioenlaces inalámbricos son una herramienta clave para ampliar la conectividad en municipios rurales, reduciendo los costos de despliegue hasta en un 40 % frente a las redes cableadas. La implementación de sensores de gases bajo la misma red IoT fortalece la gestión ambiental, facilitando la detección temprana de emisiones potencialmente peligrosas o anómalas, lo cual contribuye a la seguridad del entorno y al cumplimiento de estándares ambientales básicos.

La relevancia social del proyecto radica en su capacidad para reducir la brecha digital entre las zonas urbanas y rurales, promoviendo la inclusión tecnológica y la equidad en el acceso a servicios digitales. En la vereda Barcelona, donde muchas fincas aún carecen de conectividad confiable, la introducción de sistemas IoT representa una oportunidad para mejorar la experiencia, la sostenibilidad y la calidad de vida de las comunidades rurales.

Objetivos

Objetivo general

Implementar una infraestructura de conectividad de alta velocidad y un sistema de monitoreo de variables en una finca campestre en zona rural de Villavicencio, utilizando radioenlaces punto a punto y tecnologías IoT para la gestión remota de dispositivos.

Objetivos específicos

Evaluar las condiciones actuales de conectividad en fincas rurales de Villavicencio, identificando las principales limitaciones y necesidades tecnológicas.

Implementar una solución de conectividad basada en radioenlaces punto a punto que garantice un acceso estable y de alta velocidad a internet.

Diseñar, configurar e implementar un sistema de automatización y monitoreo controlado remotamente mediante tecnologías IoT (módulos WiFi) para la gestión en tiempo real de los dispositivos de iluminación y de gases ambientales para la detección temprana de fugas o condiciones peligrosas en la finca.

Analizar el impacto de la solución en términos de estabilidad de la conexión, eficiencia energética y satisfacción del usuario.

Marco conceptual y teórico

Marco conceptual

Arquitectura de Redes WLAN y Cableadas

Wireless Local Area Network, una expresión que puede traducirse como Red de Área Local Inalámbrica esto hace referencia cuyos equipos no necesitan vinculación través cables para conectarse. Estas utilizan ondas de radio para transmitir datos entre dispositivos, eliminando la necesidad de conexiones físicas. El Wi-Fi es el estándar inalámbrico más común, permitiendo a dispositivos como computadoras, teléfonos inteligentes y tabletas conectarse a internet y compartir archivos sin la limitación de cables.

En este tipo de redes, los dispositivos se interconectan a través de cables de par trenzado, particularmente cables UTP (Unshielded Twisted Pair), los cuales están compuestos por pares de conductores de cobre aislados y entrelazados. Esta configuración permite reducir las interferencias electromagnéticas externas y la diafonía entre pares adyacentes, mejorando la calidad de la transmisión de datos. Asimismo, los conectores RJ45 se emplean en los extremos de los cables UTP para establecer la conexión física entre los dispositivos y los diferentes componentes de la red, como hubs, switches y routers (Kurose & Ross, 2021).

La combinación de redes inalámbricas y cableadas, a menudo denominada red híbrida, es una práctica común en la mayoría de las redes modernas, tanto en entornos domésticos como empresariales. Esta combinación ofrece una solución flexible que

aprovecha las ventajas de ambas tecnologías para optimizar el rendimiento, la cobertura y la seguridad de la red.

Monitoreo de Gases con Tecnología IoT:

El monitoreo de gases mediante el Internet de las Cosas (IoT) se basa en la implementación de sensores inteligentes interconectados que permiten medir la concentración de distintos gases en el ambiente, detectar fugas o niveles peligrosos y transmitir datos en tiempo real hacia plataformas de gestión remota. Esta tecnología integra dispositivos sensores, como los MQ-2, utilizados para la detección de gases inflamables y humo, y los MQ-5, orientados a la medición de la calidad del aire y la presencia de gases tóxicos, junto con microcontroladores con capacidad de comunicación inalámbrica, como el ESP8266 o el ESP32. La relevancia de estos sistemas radica en la prevención de riesgos asociados a explosiones, incendios o intoxicaciones, especialmente en contextos rurales donde no se dispone de sistemas avanzados de detección. Asimismo, la integración de estos sensores en arquitecturas IoT permite la configuración de alarmas, el almacenamiento de datos históricos y la ejecución de acciones automáticas, como la activación de sistemas de ventilación o el envío de alertas a los usuarios a través de internet (Al-Fuqaha et al., 2015).

Automatización Remota

La automatización remota implica el uso de sistemas tecnológicos para controlar y gestionar dispositivos eléctricos desde cualquier ubicación con conexión a internet. En el contexto de una finca campestre, la automatización permite el control remoto de

sistemas como la iluminación, el riego y otros dispositivos eléctricos, mejorando la eficiencia operativa y reduciendo los costos asociados con la gestión manual.

Automatización Eléctrica. Uso de sistemas electrónicos y tecnologías de control que permiten la operación y supervisión remota de dispositivos eléctricos, con el objetivo de optimizar su funcionamiento, mejorar la eficiencia energética y reducir la dependencia de la intervención manual. (Bolton, 2015).

Internet De Las Cosas (IoT). Conjunto de dispositivos interconectados que recopilan y transmiten datos en tiempo real para su análisis y control remoto (Ravelo, 2021).

Redes Inalámbricas. Infraestructura de telecomunicaciones que permite la conexión de dispositivos sin el uso de cables físicos, facilitando la conectividad en entornos rurales (Pérez Porto & Gardey, 2011).

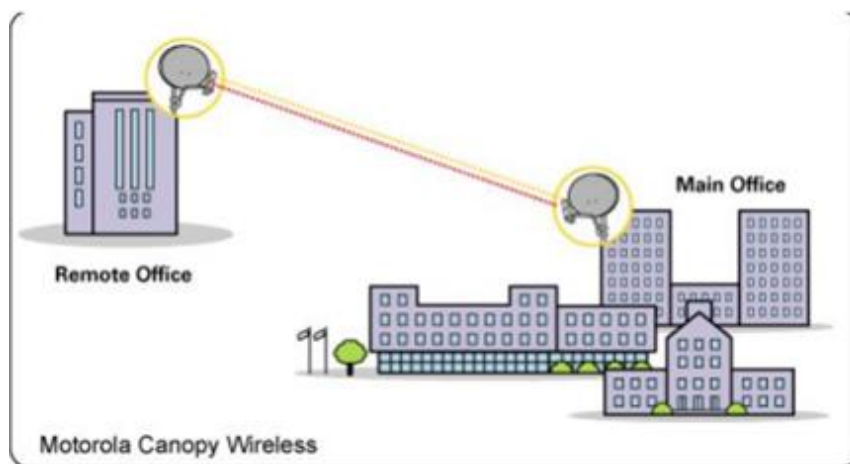
Radioenlace Punto a Punto

El radioenlace punto a punto es una tecnología que utiliza ondas de radio para transmitir datos entre dos ubicaciones geográficamente distantes, ideal para áreas rurales sin infraestructura tradicional de telecomunicaciones, como la fibra óptica. Este tipo de enlace requiere una línea de visión despejada entre los dos puntos y es muy eficiente para conectar zonas rurales alejadas, permitiendo acceso a internet y monitoreo remoto. Según Guzmán (2005), los radioenlaces punto a punto son económicos y fáciles de implementar en comparación con otras soluciones de telecomunicaciones, lo que los convierte en una opción viable para mejorar la conectividad en zonas rurales. Esto facilita el acceso a la información y a tecnologías que pueden aumentar la productividad de las actividades

agrícolas. La transformación digital en el sector agrícola implica la adopción de tecnologías de información y comunicación (TIC) que mejoran la eficiencia y productividad a través del uso de herramientas como las conexiones punto a punto, gestión de ancho de banda y los sistemas de automatización. Torres y Rodríguez (2020) señalan que la digitalización de la agricultura tiene el potencial de incrementar la competitividad mediante la optimización de los procesos productivos y la mejor toma de decisiones basada en datos. Sin embargo, esta transformación digital requiere una infraestructura de conectividad robusta, lo que sigue siendo un desafío en zonas rurales como las productoras de caña de azúcar, donde la falta de acceso a internet limita su implementación.

Figura 1

Configuración de un bridge inalámbrico punto a punto



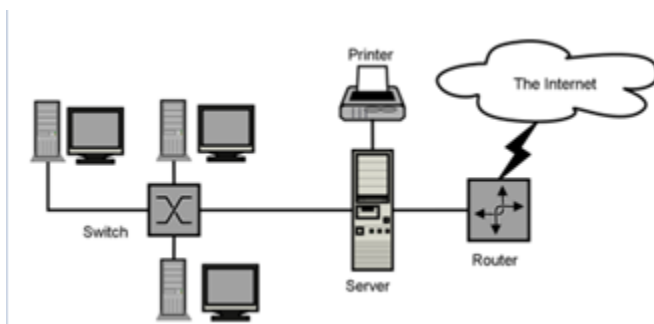
Nota. Diagrama de un radioenlace punto a punto, para conectividad entre ubicaciones geográficas distintas. Adaptado de Dispositivos Inalámbricos, por V. T. Perfil, s.f., Blogspot (<https://dispositivoswirelesslan.blogspot.com/p/bridge-inalambrico.html?m=1>)

Tipos de Redes y Direcciones IP

El término de red hace referencia a sistemas informáticos que están conectadas entre sí, y esta forma hace un intercambio de información de datos, y esto es necesario física como la conexión lógica de los sistemas. Personal Area Networks (PAN) o red de área personal: Es un estándar de red para la comunicación entre distintos dispositivos (computadoras, puntos de acceso a internet, teléfonos celulares, PDA, dispositivos de audio, impresoras) cercanos al punto de acceso. Local Area Networks (LAN) o red de área local: se conoce como a una red LAN a una red informática cuyo alcance es limitado en un espacio reducido como lo es una casa un departamento o un edificio. Metropolitan Area Networks (MAN) o red de área metropolitana: este tipo de red es un intermedio entre LAN y WAN, comprende un territorio o una gran ciudad, este tipo de red también se comprende por alta velocidad y con una gran cobertura extensa. (digital guide ionos).

Figura 2

Diagrama de una Red de Área Local (LAN) con Conexión a Internet



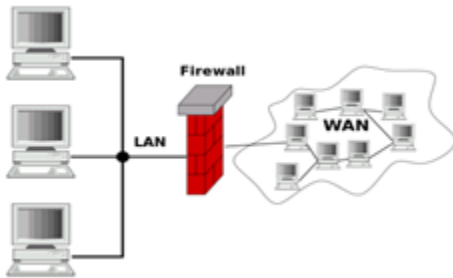
Nota. El diagrama muestra la interconexión de terminales mediante un conmutador (switch), un servidor central y un enrutador (router) para el acceso a la red externa.

Adaptado de Metropolitan area networks, (<https://index.php?curid=7654281>).

Wide Area Networks (WAN) o red de área amplia: la red WAN define una cobertura sin un límite predefinido como es el caso de la red MAN. Este tipo de red la utilizan en prácticamente en un ámbito de cada país, aunque para conseguir el mejor rendimiento posible, utilizan métodos de conmutación de paquetes, el cual esto adapta por cualquier tipo de estar. (digital guide ionos).

Figura 3

Esquema de un Cortafuegos de Pasarela (Gateway Firewall) entre una LAN y una WAN



Nota. El diagrama ilustra la posición estratégica de un cortafuegos protegiendo una red de área local frente a una red de área amplia. Adaptado de Los tipos de redes más conocidos, por H. Mühlböck, IONOS Digital Guide

<https://www.ionos.es/digitalguide/servidores/know-how/los-tipos-de-redes-mas-conocidos>.

Unicast. Este tipo de direcciones son bastante conocidas. Un paquete que se envía a una dirección unicast debería llegar a la interfaz identificada por dicha dirección.

Multicast. Las direcciones multicast identifican un grupo de interfaces. Un paquete destinado a una dirección multicast llega a todos las interfaces que se encuentran agrupados bajo dicha dirección. Anycast: Las direcciones anycast son sintácticamente indistinguibles de las direcciones unicast, pero sirven para identificar a un conjunto de

interfaces. Un paquete destinado a una dirección anycast llega a la interfaz “más cercana” (en términos de métrica de “routers”). Las direcciones anycast sólo se pueden utilizar en “routers”. (Maestros de la web).

Marco Teórico:

Relación Señal-Ruido

La relación señal-ruido (SNR, por sus siglas en inglés) es una medida que compara el nivel de la señal deseada con el nivel del ruido de fondo no deseado en una transmisión de datos. En los radioenlaces, este indicador es vital para garantizar una comunicación clara y sin interrupciones. Una relación señal-ruido alta significa que la señal de datos es mucho más fuerte que el ruido, lo que permite una transmisión más eficiente. El resultado de dividir el valor de la señal de datos, por la señal de ruido es lo que se conoce como relación señal/ruido. Se expresa en decibelios (dB), y en escala exponencial, lo que quiere decir que una relación señal ruido de 10 dB, indica que la señal es 10 veces mayor que la de ruido, mientras que 20 dB indica 100 veces más potencia. (RUESCA, 2016).

Potencia Transmitida

La potencia transmitida es otra variable clave en los sistemas de radioenlace punto a punto. Esta potencia se refiere a la cantidad de energía que el transmisor emite en la forma de señales de radio, medida en decibelios milivatios (dBm). En un enlace punto a punto, la potencia de transmisión debe ser lo suficientemente alta como para superar la pérdida de señal causada por la distancia entre los dos puntos y los obstáculos físicos, como edificios o árboles. 1 mW es igual a 0 dBm y cada vez que se doblan los milivatios,

se suma 3 a los decibelios. La radiación máxima emitida por una antena (que puede terminar muy por encima de los vatios de entrada), que admite la FCC en los EE. UU. Es de 1 vatio (equivalente a 30 dBm). En Europa, el límite es de 250 mW (24 dBm). (RUESCA, 2016).

Figura 4

Tabla de Conversión de dBm a Vatios

dBm	Vatios	dBm	Vatios	dBm	Vatios
0	1.0 mW	16	40 mW	32	1.6 W
1	1.3 mW	17	50 mW	33	2.0 W
2	1.6 mW	18	63 mW	34	2.5 W
3	2.0 mW	19	79 mW	35	3.2 W
4	2.5 mW	20	100 mW	36	4.0 W
5	3.2 mW	21	126 mW	37	5.0 W
6	4 mW	22	158 mW	38	6.3 W
7	5 mW	23	200 mW	39	8.0 W
8	6 mW	24	250 mW	40	10 W
9	8 mW	25	316 mW	41	13 W
10	10 mW	26	398 mW	42	16 W
11	13 mW	27	500 mW	43	20 W
12	16 mW	28	630 mW	44	25 W
13	20 mW	29	800 mW	45	32 W
14	25 mW	30	1.0 W	46	40 W
15	32 mW	31	1.3 W	47	50 W

Nota. Relación de equivalencia entre niveles de potencia en decibelios-milivatio (dBm) y su correspondiente valor en vatios (W) o milivatios (mW). Adaptado de Tablas de decibelios, por Radiocomunicaciones, s.f. (<https://www.radiocomunicaciones.net>).

Antenas

Las antenas son dispositivos fundamentales en los sistemas de Telecomunicaciones, ya que permiten la emisión y recepción de señales electromagnéticas, esenciales para establecer conexiones inalámbricas. En un radioenlace punto a punto, la elección de la antena adecuada es crucial para garantizar la calidad y el alcance de la señal. Existen antenas de distintos tipos, pero todas ellas cumplen la misma misión: servir de emisor-receptor de una señal de radio. Cuando la comunicación fluye en ambas direcciones, se denomina bidireccional. Si dicha comunicación no se efectúa simultáneamente, sino alternativamente, se denomina comunicación semidúplex. Todas las comunicaciones dentro del ámbito WIFI son bidireccionales semidúplex. (RUESCA, 2016)

Antenas Parabólicas

Las antenas parabólicas son uno de los tipos más comunes y eficaces para los radioenlaces de larga distancia, debido a su alta ganancia y capacidad de enfoque de las ondas electromagnéticas. Están compuestas por un reflector parabólico que concentra las señales hacia un punto específico, aumentando la intensidad de la señal transmitida o recibida. Esta característica permite que las antenas parabólicas ofrezcan una gran directividad, lo que significa que pueden enviar y recibir señales con alta precisión a largas distancias, reduciendo las interferencias externas. Las antenas parabólicas son las más potentes que se pueden adquirir (hasta 27 dBi), por lo que son las más indicadas para cubrir largas distancias entre emisor y receptor. Cuanta mayor ganancia tiene, mayor diámetro de rejilla. (RUESCA, 2016)

Figura 5*Antena de Reflector Parabólico para Radiocomunicaciones*

Nota. Ejemplo de una antena parabólica de rejilla utilizada para enlaces de larga distancia y alta direccionalidad. Adaptado de Antenas, por Radiocomunicaciones, s.f.

(<https://www.radiocomunicaciones.net>).

Automatización por Módulo WiFi Arduino

La automatización mediante el uso de módulos WiFi y Arduino ha facilitado el control remoto de dispositivos en sectores como la agricultura y la industria. Arduino, un microcontrolador de código abierto, junto con módulos WiFi, permite automatizar y gestionar dispositivos a distancia. Este sistema resulta ideal en entornos rurales donde el acceso físico a los sistemas puede ser limitado y las soluciones tecnológicas deben ser eficientes y asequibles (Arduino, 2023),

Figura 6

Sistema de Control de Iluminación Mediante Módulo Relé WiFi ESP8266



Nota. El diagrama muestra la interfaz de una aplicación móvil para el control remoto de una bombilla utilizando un microcontrolador ESP8266 y un módulo relé. Adaptado de Relé WiFi ESP8266 [Miniatra de video], por Ytimg, 2024 (<https://i.ytimg.com/vi/gig2SDxjEuM/maxresdefault.jpg>).

Conexión a Servidores

La conexión a servidores es fundamental para que los módulos WiFi Arduino puedan enviar y recibir datos en tiempo real. Esta conexión se puede establecer utilizando protocolos como HTTP o MQTT. El módulo ESP32, por ejemplo, se conecta a servidores para gestionar datos y enviar comandos a través de internet, permitiendo controlar sistemas como el riego o la iluminación de manera remota. El protocolo MQTT es particularmente adecuado para aplicaciones que requieren bajo consumo de ancho de banda y alta eficiencia en la comunicación (Ravelo, 2021).

Sensores de Gas IoT

Los sensores de gas son dispositivos diseñados para detectar la presencia y concentración de sustancias gaseosas en un entorno determinado. En el ámbito de la automatización rural, destacan sensores como el MQ-5 y el MQ-135, ampliamente utilizados por su bajo costo y facilidad de integración. El sensor MQ-5 permite la

detección de gases inflamables como propano, butano, metano y humo, mientras que el MQ-135 se emplea para medir gases contaminantes como amoníaco, dióxido de carbono y compuestos orgánicos volátiles. Estos sensores operan mediante un elemento calefactor interno que provoca variaciones en su resistencia eléctrica al entrar en contacto con diferentes gases, lo cual puede ser interpretado por un microcontrolador y transmitido a través de redes IoT. (Hanwei Electronics, 2018). La integración de sensores de gas en sistemas conectados a internet posibilita la detección temprana de fugas peligrosas, la activación automática de alarmas locales o remotas y el registro histórico de datos para su posterior análisis.

Configuración de Sistemas Arduino

La configuración de sistemas basados en Arduino incluye la programación del microcontrolador y la selección adecuada de componentes como sensores, actuadores y módulos de comunicación. Arduino ofrece una plataforma versátil para la automatización de procesos, desde proyectos simples hasta sistemas industriales complejos. Su capacidad de integrarse con diversos sensores y actuadores lo convierte en una herramienta poderosa para la creación de soluciones personalizadas en agricultura, domótica e industria (Arduino, 2023).

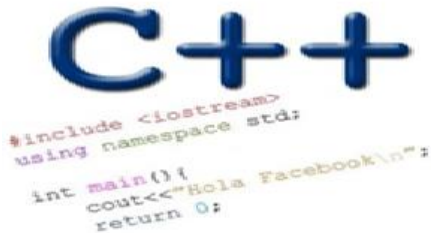
Lenguajes de Programación en Arduino

Arduino se programa principalmente en C++, aunque también es posible utilizar otros lenguajes como Python, gracias a bibliotecas como Firmata, que permiten la integración con plataformas de programación más avanzadas. El entorno de desarrollo de Arduino (IDE) está diseñado para facilitar la escritura y compilación de programas,

conocidos como "sketches", lo que permite un rápido despliegue de soluciones (Wilson, 2020). Esta flexibilidad permite a los usuarios adaptar los proyectos a sus necesidades específicas, ya sea en términos de procesamiento de datos o en la interacción con sensores y actuadores.

Figura 7

Sintaxis Básica de un Programa en Lenguaje C++



The image shows the C++ logo in blue, with the text 'C++' in a large, bold font. Below the logo is a snippet of C++ code in a monospaced font, with syntax highlighting: `#include <iostream>`, `using namespace std;`, `int main(){`, `cout<<"Hola Facebook!\n";`, and `return 0;`.

Nota. Ejemplo de código fuente que utiliza la librería `iostream` para imprimir un mensaje en consola. Adaptado de Lenguaje de programación C++, por P. Jecrespom, 2015, Aprendiendo Arduino (<https://aprendiendoarduino.wordpress.com/2015/03/26/lenguaje-de-programacion-c/>).

Especificaciones de Placas Arduino

Existen diversas placas de Arduino, cada una con características específicas que las hacen adecuadas para diferentes proyectos. La Arduino Uno es una de las más populares debido a su simplicidad y bajo costo. Está equipada con un microcontrolador ATmega328, 14 pines digitales, 6 entradas analógicas y una frecuencia de 16 MHz, lo que la convierte en una opción ideal para proyectos básicos y educativos (Arduino, 2023).

Por otro lado, la Arduino Mega es más avanzada, con 54 pines digitales y 16 entradas analógicas, diseñada para proyectos que requieren mayor capacidad de procesamiento y manejo de múltiples sensores. La Arduino Nano, con su diseño compacto, es perfecta para proyectos que necesitan ahorrar espacio, ofreciendo prácticamente las mismas funcionalidades que la Arduino Uno, pero en un tamaño reducido (Shah, 2019).

Figura 8

Modelos, variantes de placas y Shields del ecosistema Arduino



Nota. La imagen presenta diversos modelos de hardware libre, incluyendo placas principales como Arduino Mega y Leonardo, así como módulos de expansión (shields) para Ethernet y GSM. Adaptado de Qué es Arduino, cómo funciona y qué puedes hacer con uno, por Y. Fernández, 2022, Xataka (<https://www.xataka.com/basics/que-arduino-como-funciona-que-puedes-hacer-uno>).

Estado del Arte

La falta de conectividad a internet en las zonas rurales de Colombia continúa siendo uno de los principales retos para la modernización tecnológica. En el municipio de Villavicencio (Meta), muchas fincas campestres aún presentan deficiencias significativas en la infraestructura de telecomunicaciones, lo que limita la adopción de soluciones digitales orientadas a la automatización y el control remoto de sistemas eléctricos. Según el Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (MinTIC, 2023), menos del 12% de los hogares rurales en el departamento del Meta cuenta con acceso a internet de banda ancha, una cifra que evidencia la brecha tecnológica existente frente a las zonas urbanas. Esta limitación repercute en la seguridad, eficiencia operativa y calidad de vida de los habitantes rurales, que no pueden aprovechar las ventajas que ofrecen las tecnologías basadas en el Internet de las Cosas (IoT).

Entre las soluciones más efectivas para mejorar la conectividad rural se encuentra el uso de radioenlaces punto a punto, una tecnología que permite la transmisión de datos a largas distancias mediante ondas de radio. Este tipo de experiencias demuestra la viabilidad técnica de los radioenlaces para mejorar la conectividad en zonas con baja cobertura. A nivel regional, existen proyectos exitosos que han aplicado tecnologías similares. En Perú, Villanueva desarrollaron una red Wi-Fi de largo alcance para comunidades rurales, logrando una mejora del 60% en la cobertura y una reducción del 40% en los costos de conectividad. De igual manera, en México, Jiménez y López (2022) diseñaron un sistema de monitoreo y automatización de bajo costo con módulos ESP8266, demostrando que las soluciones IoT permiten controlar dispositivos eléctricos

de forma remota y reducir el consumo energético en un 25%. Estos ejemplos confirman que la modernización tecnológica basada en IoT no requiere grandes infraestructuras, sino un diseño eficiente y adaptable al entorno rural.

En el contexto colombiano, la automatización eléctrica e integración de sistemas IoT han comenzado a adoptarse en pequeñas propiedades rurales con fines de seguridad, ahorro energético y control remoto. Sostienen que la incorporación de controladores y sensores inteligentes puede mejorar la eficiencia energética hasta en un 30%, optimizando el uso de recursos sin necesidad de grandes inversiones. De manera similar, Torres y Rodríguez (2020) enfatizan que la digitalización mediante soluciones IoT puede aumentar la capacidad operativa y reducir la dependencia de la supervisión presencial, un aspecto esencial para propiedades ubicadas en zonas rurales con difícil acceso.

El presente proyecto se enmarca en esta línea tecnológica, proponiendo el diseño de una infraestructura de conectividad mediante radioenlace y un sistema IoT orientado a la automatización de la iluminación y monitoreo ambiental en una finca campestre de Villavicencio. Esta implementación busca optimizar la gestión energética y aumentar la seguridad mediante el control remoto desde dispositivos móviles, sin pretender transformar las actividades agrícolas, sino más bien modernizar los sistemas eléctricos y de conectividad del entorno. Según Digi International (2024), el uso de dispositivos inteligentes interconectados puede reducir los costos de mantenimiento hasta en un 30%, aumentando la sostenibilidad y confiabilidad de los sistemas eléctricos rurales.

Metodología

Esta investigación sigue un enfoque cuantitativo y experimental, con un diseño de estudio basado en la recolección de datos en campo y la simulación de redes para evaluar la implementación de una infraestructura de conectividad mediante radioenlaces y control remoto a través de Arduino. Se utilizarán métodos estadísticos descriptivos para el análisis de los datos de conectividad, velocidad y satisfacción del usuario. El proceso de análisis se llevará a cabo en diferentes etapas, detalladas a continuación:

Etapa 1: Investigación o Indagación de la Problemática Principal

En esta fase, se llevará a cabo una investigación exhaustiva para identificar los problemas relacionados con la conectividad a internet y la gestión remota de la red en la zona seleccionada. Se evaluarán las necesidades tecnológicas de los usuarios y las condiciones del entorno, incluyendo posibles desafíos como limitaciones en la cobertura, interferencias, y requerimientos de control remoto. Se utilizarán encuestas para recopilar datos de los usuarios sobre las expectativas de la red y análisis técnico del terreno para identificar barreras geográficas o interferencias que puedan afectar la conectividad.

Método de Estadística

Se emplearán estadísticas descriptivas para analizar los datos recopilados, como el promedio de cobertura actual y las expectativas de mejora por parte de los usuarios. Se realizarán gráficos para visualizar las áreas afectadas por la falta de conectividad y los problemas de cobertura.

Tipo de Análisis

Análisis situacional y de necesidades basado en la evaluación del entorno y las condiciones del servicio actual.

Etapa 2: Identificación de la Topología de la Red en la Zona

En esta fase, se mapeará la zona de interés, identificando los puntos de acceso y los equipos existentes. Se documentarán las características técnicas de las antenas y su ubicación, y se analizará la eficiencia de la red actual para determinar las necesidades de ampliación. Se utilizarán herramientas de mapeo digital y análisis de topología de redes.

Método de Estadística

Se emplearán análisis de cobertura y rendimiento de la red, y se realizarán cálculos para identificar las áreas que requieren mejoras en la infraestructura.

Tipo de Análisis

Análisis topológico para evaluar la eficiencia de la red y determinar los puntos críticos que necesitan mejoras en términos de cobertura y señal.

Etapa 3: Configuración de Antenas y Administrador de Red

Se procederá con la configuración de las antenas de acuerdo con las especificaciones técnicas derivadas del análisis topológico. Además, se programará una placa Arduino con módulo Wi-Fi para permitir el control remoto de la red. Se desarrollará un servidor para la administración centralizada y se simulará el funcionamiento del sistema para detectar posibles errores antes de la implementación física.

Método de Estadística

Se realizarán simulaciones estadísticas para modelar el comportamiento de la red bajo diferentes condiciones, evaluando el rendimiento esperado en base a los datos de campo.

Tipo de Análisis:

Simulación del sistema para la validación del diseño. Se utilizarán herramientas de simulación como GNS3 para predecir la eficiencia del sistema y ajustar configuraciones antes de la instalación física.

Etapa 4: Implementación en la Zona

En esta fase se llevará a cabo la implementación física de las antenas y el sistema de control remoto basado en Arduino. Se configurará el servidor y se pondrá en funcionamiento el control remoto de la red. Se realizarán pruebas de campo para asegurar que la red funcione de manera óptima, cubriendo todas las áreas previstas.

Método de Estadística

Se utilizarán pruebas de conectividad, estabilidad de la red y cobertura. Los datos obtenidos serán evaluados mediante análisis comparativo entre la situación previa y posterior a la implementación.

Tipo de Análisis

Análisis de rendimiento basado en pruebas de velocidad, latencia y calidad de la conexión en las áreas rurales.

Etapa 5: Evaluación de la Eficiencia o Impacto

Finalmente, se evaluará el impacto de la implementación mediante pruebas de velocidad, estabilidad y cobertura de la red. Además, se recogerán datos de la satisfacción de los usuarios mediante encuestas. Los resultados serán analizados para determinar si se han cumplido los objetivos iniciales y, en caso necesario, se planificarán ajustes o mejoras en la infraestructura.

Método de Estadística

Análisis de frecuencias y estadísticas de satisfacción del usuario. Se realizarán comparaciones antes y después de la implementación para evaluar la mejora en la calidad del servicio.

Tipo de Análisis

Evaluación de impacto y análisis comparativo para identificar posibles ajustes o mejoras en el sistema.

Implementación Metodológica

Etapa 1: Investigación o Indagación de la Problemática Principal

No obstante, se ratifica la problemática realizando una encuesta a los pobladores de la Vereda Barcelona, en la zona rural de Villavicencio-Meta mediante la plataforma Google Forms, con la elección de respuestas predeterminadas y el cumplimiento de Rol se brinda con exactitud la información necesitada por los pobladores. Como se puede observar mediante la Figura 9.

Figura 9

Gráfico de respuestas de la encuesta preguntas 1 y 2.

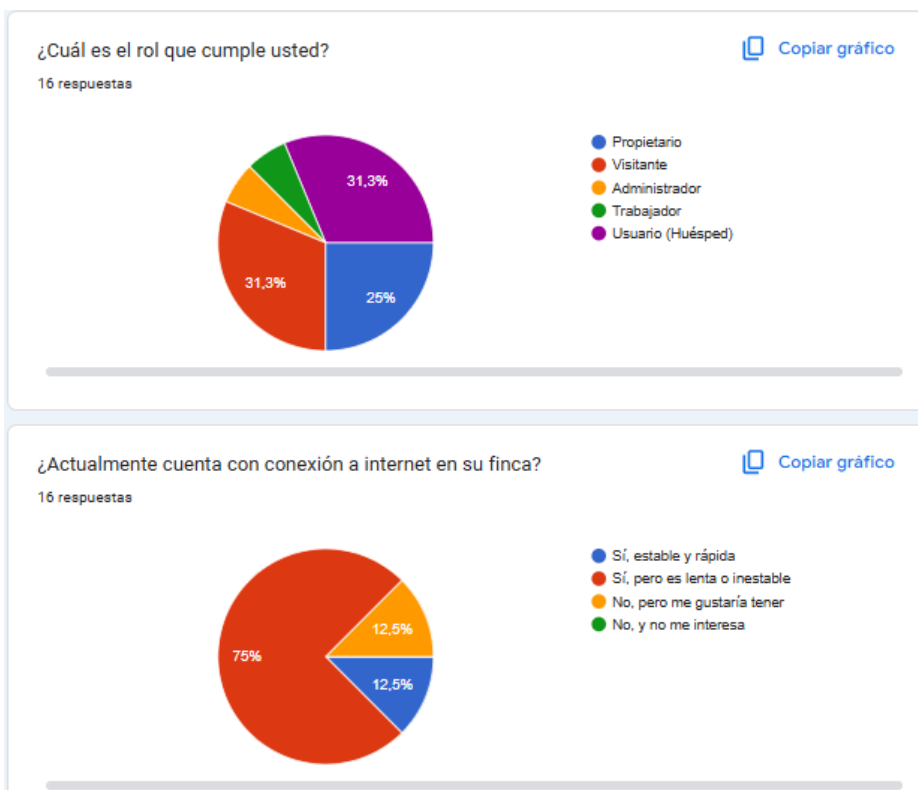


Figura 10

Gráfico de respuestas de la encuesta preguntas 3 y 4.

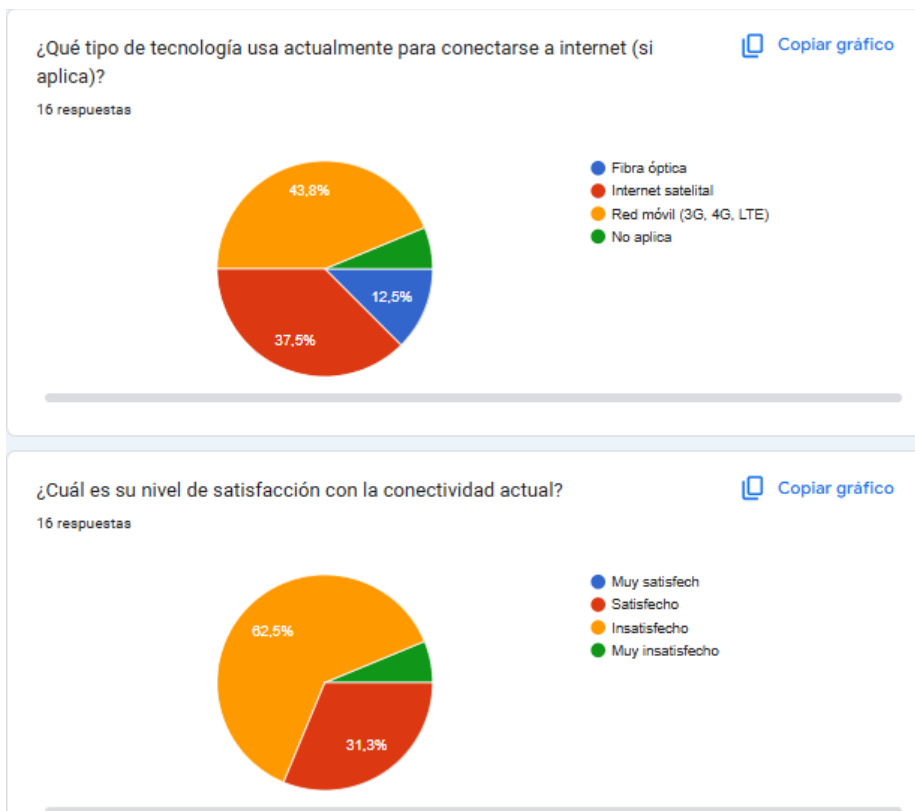


Figura 11

Gráfico de respuestas de la encuesta pregunta 5.

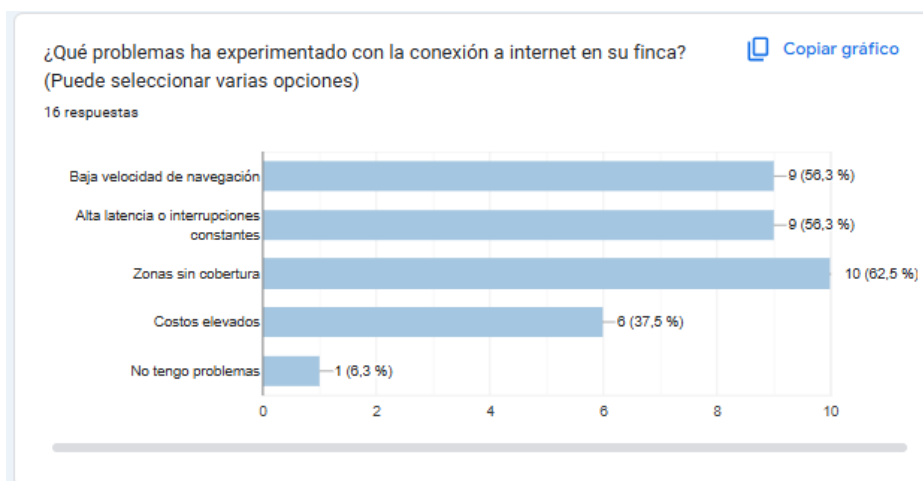


Figura 12

Gráfico de respuestas de la encuesta preguntas 6 y 7.

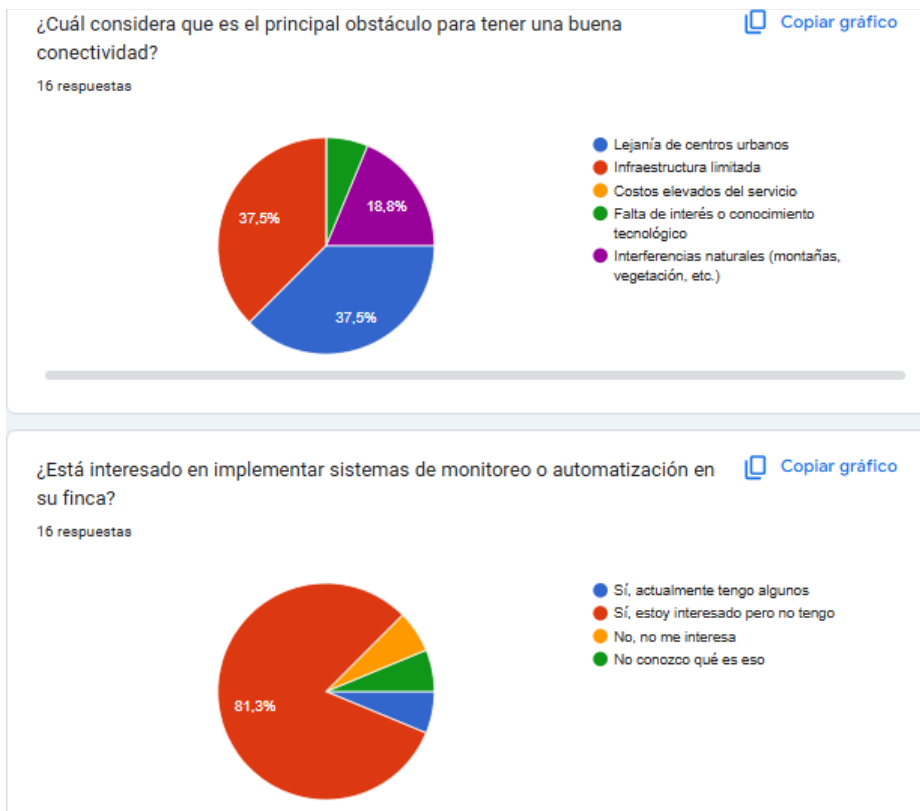
**Figura 13**

Gráfico de respuestas de la encuesta pregunta 8.

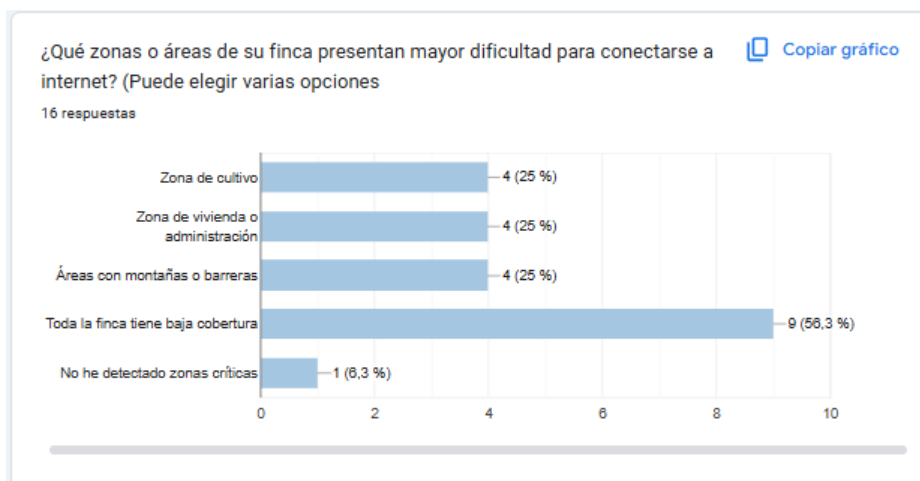


Figura 14

Gráfico de respuestas de la encuesta preguntas 9 y 10.

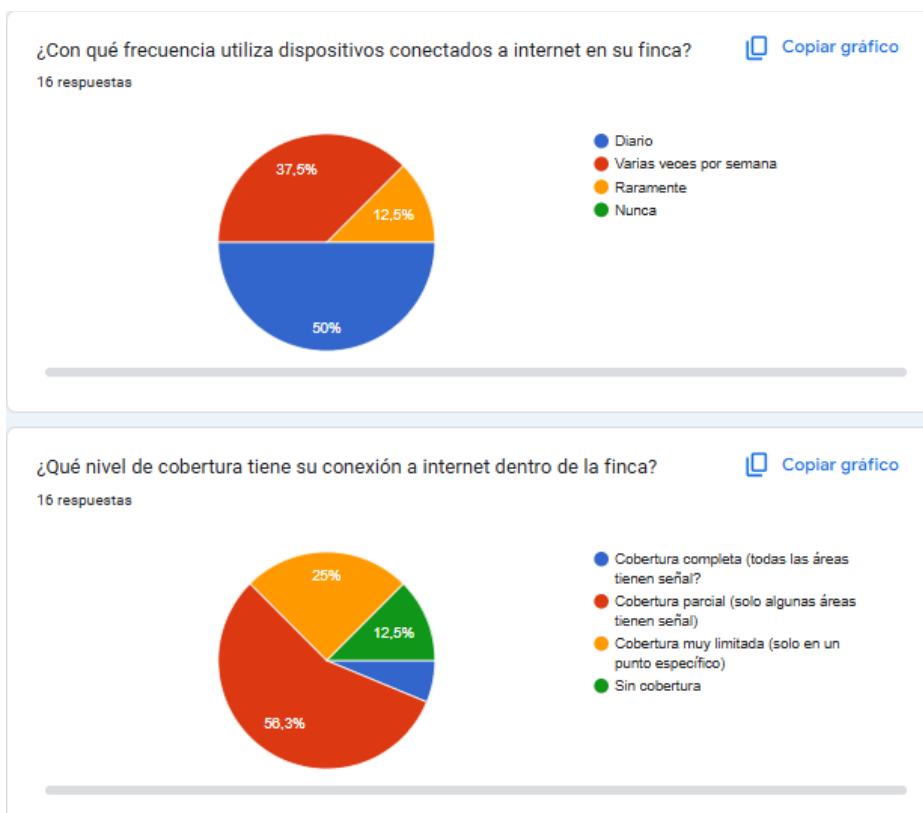
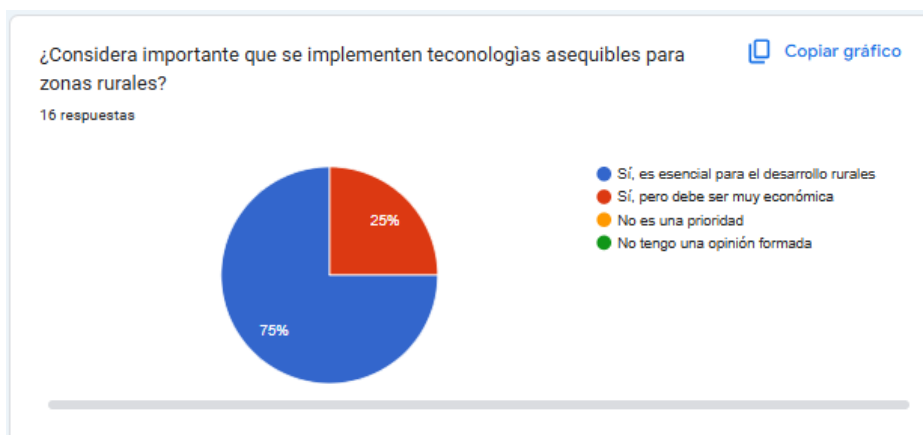


Figura 15

Gráfico de respuestas de la encuesta pregunta 11.



La mayoría de los encuestados manifestó contar con conexión a internet, sin embargo, la calidad de esta es deficiente, predominando conexiones móviles (3G, 4G, LTE) e internet satelital como se visualiza en la Figura 10, que resultan insuficientes para garantizar una navegación estable. Las principales dificultades reportadas en la Figura 11, 12 y 13 incluyen baja velocidad, alta latencia, interrupciones frecuentes del servicio y zonas sin cobertura, siendo la lejanía de los centros urbanos y la infraestructura limitada los obstáculos más relevantes para alcanzar una buena conectividad. Además, la cobertura dentro de las fincas es mayormente parcial o muy limitada, lo cual restringe el uso de tecnologías digitales en la totalidad del predio. No obstante, en la Figura 14 y 15, un aspecto positivo es que existe un alto nivel de interés por parte de los encuestados en implementar sistemas de monitoreo y automatización en sus fincas, aunque muchos aún no disponen del conocimiento o los recursos necesarios para hacerlo.

Esta realidad valida y justifica cada una de las fases planteadas en el cronograma establecido para el proyecto, desde la revisión de necesidades y recolección de datos iniciales, hasta el diseño de soluciones adaptadas y la implementación de un prototipo piloto. En general, los resultados del formulario refuerzan la importancia de avanzar con proyectos que permitan el acceso a soluciones tecnológicas innovadoras, prácticas y sostenibles en zonas rurales, fomentando así su desarrollo productivo y social mediante una conectividad más robusta y asequible.

Etapas 2: Identificación de la Topología de la Red en la Zona

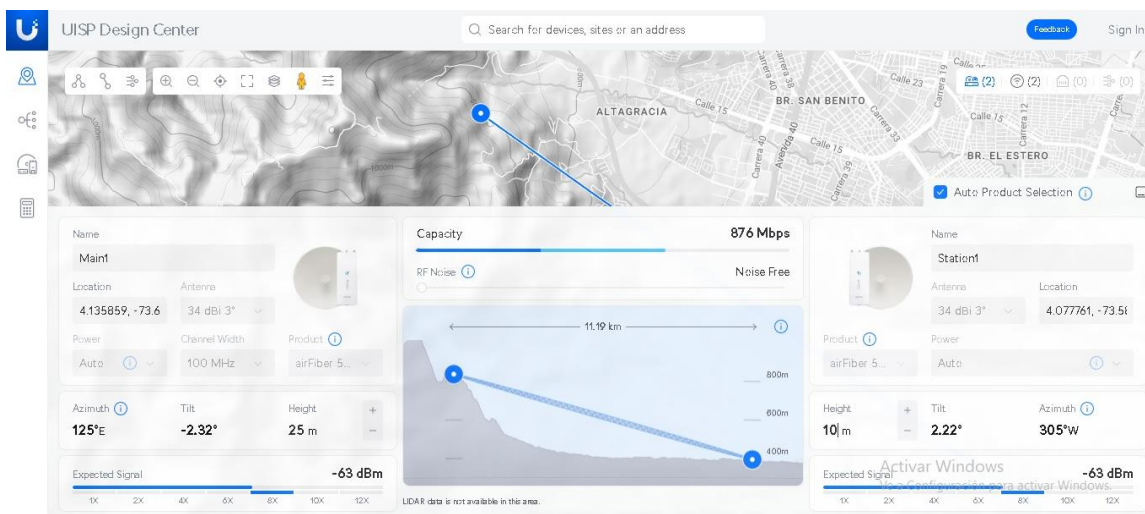
Se desarrolló la implementación de un sistema de conectividad punto a punto empleando la plataforma UISP Design Center de Ubiquiti, la cual permitió realizar una

simulación precisa del enlace inalámbrico entre los nodos de transmisión y recepción. Esta herramienta facilita el análisis técnico de la viabilidad del enlace, considerando variables como la distancia, la topografía del terreno, los niveles de señal y las pérdidas por obstáculos naturales, proporcionando una representación realista del rendimiento esperado del sistema antes de su implementación física.

La simulación se fundamentó en referencias técnicas y parámetros establecidos por operadores y empresas de telecomunicaciones que prestan servicio en la zona rural de Villavicencio, Meta, específicamente en la vereda Barcelona.

Figura 16

Enlace de simulación plataforma UISP Design Center



Como bien se puede observar en la Figura 16 se cumple con la capacidad de línea de vista al punto específico en la casa principal de la finca en cuestión, pero al ingresar las coordenadas del otro punto de conexión requerido se observa la línea obstruida por altura en las torres de montaje de las antenas como se puede visualizar en la Figura 17.

Pues esto genera un costo superior al presupuestado planteado por la empresa generando un impacto negativo al consumidor final.

Figura 17

Enlace de simulación sin línea de vista plataforma UISP Design Center

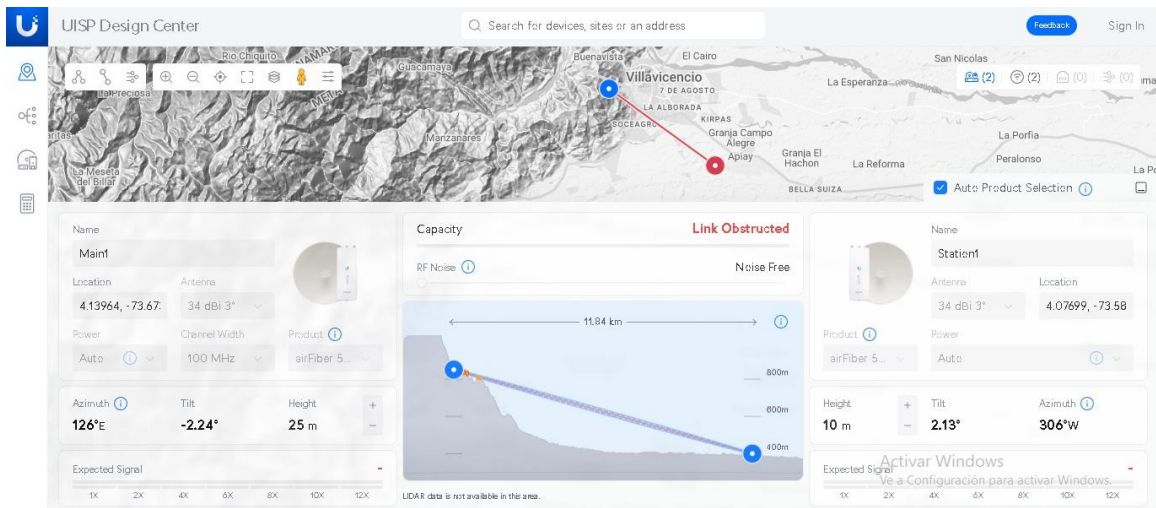


Figura 18

Delimitación de Finca



Figura 19

Mapeo zonal de finca con niveles de conectividad.



Como se observa en la Figura 18 y la Figura 19, se realizó la delimitación y el mapeo zonal de los niveles de conectividad en la finca seleccionada para la implementación del proyecto de grado, la cual cuenta con una extensión aproximada de 4637 metros cuadrados. En el recuadro verde se identifica el punto de instalación del equipo de transmisión principal del enlace WAN, así como el área con cobertura óptima. Sin embargo, las zonas adyacentes presentan variaciones en la calidad del enlace, evidenciadas en el recuadro naranja, donde la conectividad es intermitente debido a la inestabilidad del enlace y las fluctuaciones de señal.

Por su parte, las áreas señaladas en color rojo reflejan deficiencias significativas en la conectividad, atribuibles a obstáculos físicos, interferencias electromagnéticas y limitaciones en la capacidad de transmisión de los equipos instalados. Finalmente, las

zonas sin color o no determinadas indican ausencia total de conectividad con la red, principalmente por falta de cobertura en el área de influencia.

En cuanto al diseño de la red WAN, este se fundamenta en la implementación de un radioenlace que permite establecer la conexión entre el proveedor de servicios de Internet y el punto central de la finca, garantizando así el acceso a la red global. A partir de este enlace principal, se plantea la distribución de la conectividad a nivel local mediante una arquitectura de red inalámbrica, optimizada para cubrir la totalidad, considerando criterios de línea de vista, potencia de transmisión, relación señal-ruido y ubicación estratégica de los equipos.

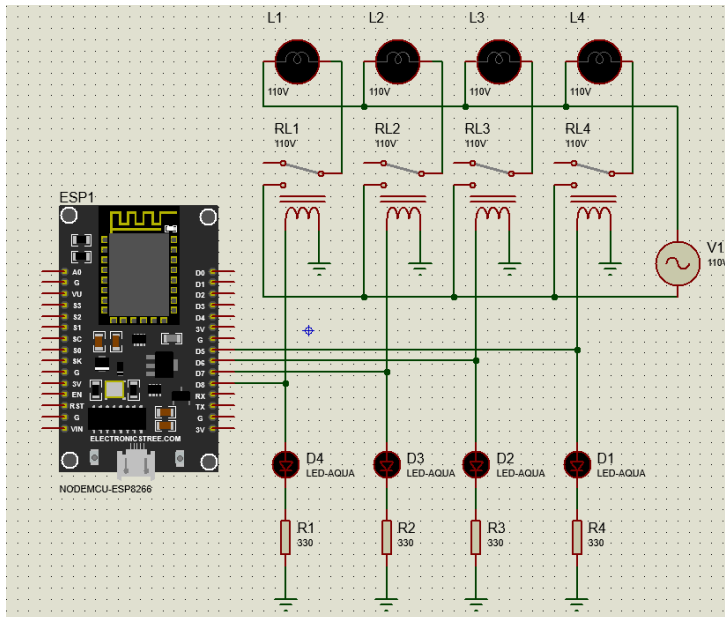
Cabe resaltar que, al tratarse de una zona rural, la conectividad móvil LTE presenta una disponibilidad mínima o nula en la mayoría de los operadores, lo cual limita considerablemente el acceso a servicios de Internet y comunicaciones en el sector.

Etapa 3: Configuración de Antenas y Administrador de Red

Se identifica en la figura 20 el esquema electrónico del módulo wifi, ilustrando pines de conexión y materiales requeridos para implementación física mediante el software Proteus. Con la finalidad de establecer una identificación detallada de la fase de comunicación digital del módulo wifi a los relés de estado sólido.

Figura 20

Topología electrónica en el simulador Proteus



Configuración de Antenas

Se realiza la configuración estándar para enlace establecido para antenas de características Ubiquiti. Mediante la interfaz interna de la antena, ingresando mediante IP por defecto en navegador.

Figura 21

Configuración Wireless antena NanoStationM5

The screenshot shows the 'Configuración inalámbrica básica' (Basic Wireless Configuration) page in the airOS interface. The page is divided into two main sections: 'Configuración inalámbrica básica' and 'Seguridad inalámbrica'.

Configuración inalámbrica básica:

- Modo inalámbrico: Punto de acceso
- WDS (Modo puente transparente): Activar
- SSID: MaxConet_Station Ocultar SSID
- Código del país: Canada (Licensed)
- Modo IEEE 802.11: A/N mezclado
- Ancho de canal [?]: 20 MHz
- Lista de frecuencias, MHz: 5210
- Canal de extensión: Ninguno
- Lista de frecuencias, MHz: Activar
- Calcular límite EIRP: Activar
- Antena: Built in (2x2) - 16 dBi
- Potencia de salida: 27 dBm
- Módulo de velocidad de datos: Predeterminado
- Índice TX máx., Mbps: MCS 15 - 130/144.4 Auto

Seguridad inalámbrica:

- Seguridad: WPA2-AES
- Autenticación WPA: PSK
- Clave WPA compartida previamente: Mostrar
- MAC ACL: Activar

Figura 22

Configuración Network antena NanoStationM5

The screenshot shows the 'Network' configuration page in the airOS interface. The page is divided into three main sections: 'Network Role', 'Configuration Mode', and 'Management Network Settings'.

Network Role:

- Network Mode: Bridge
- Disable Network: None

Configuration Mode:

- Configuration Mode: Simple

Management Network Settings:

- Management IP Address: DHCP Static
 - IP Address: 192.168.1.21
 - Netmask: 255.255.255.0
 - Gateway IP: 192.168.1.1
 - Primary DNS IP: 8.8.8.8
 - Secondary DNS IP: 8.8.4.4
 - MTU: 1500
- IPv6: Enable
 - IPv6 Address: Static SLAAC
- Management VLAN: Enable
- Auto IP Aliasing: Enable
- STP: Enable

Figura 23

Interfaz Main antena NanoStationM5

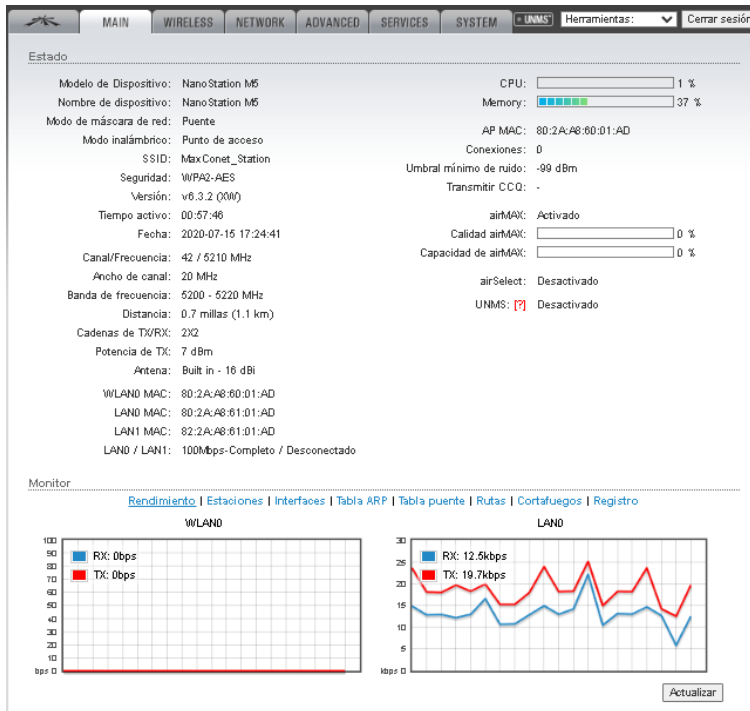


Figura 24

Configuración Wireless antena NanoStation loco M5

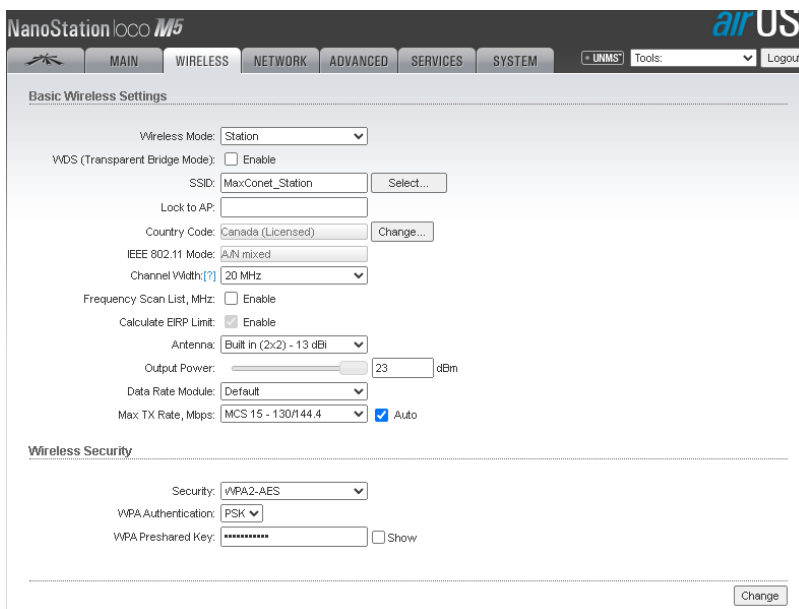


Figura 25

Configuración Network antena NanoStation loco M5

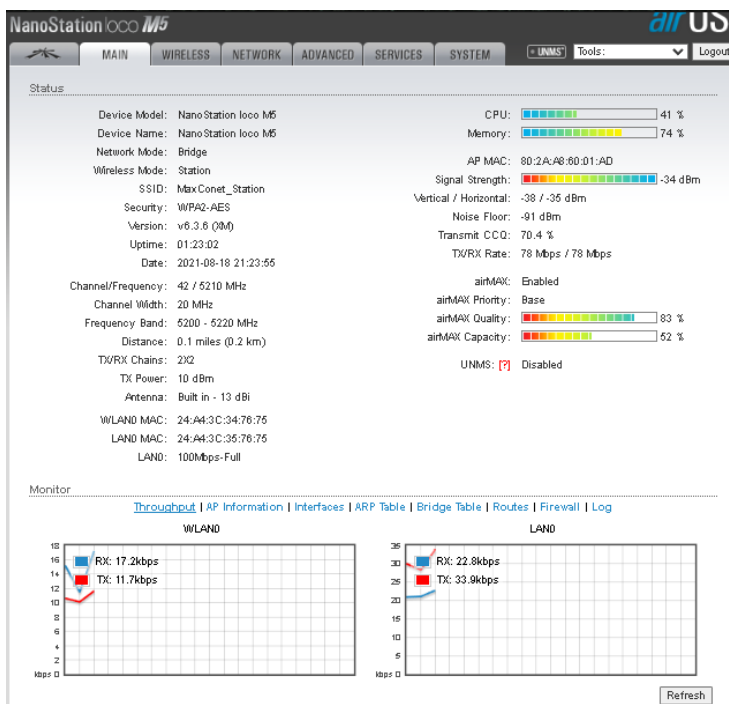
The screenshot shows the configuration page for a NanoStation loco M5 antenna. The interface includes a navigation menu with tabs for MAIN, WIRELESS, NETWORK, ADVANCED, SERVICES, and SYSTEM. The NETWORK tab is active. The configuration is organized into sections:

- Network Role:** Network Mode is set to 'Bridge' and Disable Network is set to 'None'.
- Configuration Mode:** Configuration Mode is set to 'Simple'.
- Management Network Settings:**
 - Management IP Address: DHCP (unchecked) and Static (checked).
 - IP Address: 192.168.1.22
 - Netmask: 255.255.255.0
 - Gateway IP: 192.168.1.1
 - Primary DNS IP: 8.8.8.8
 - Secondary DNS IP: 8.8.4.4
 - MTU: 1500
 - Management VLAN: Enable (unchecked)
 - Auto IP Aliasing: Enable (checked)
 - STP: Enable (unchecked)
 - IPv6: Enable (checked)
 - IPv6 Address: Static (unchecked) and SLAAC (checked).

A 'Change' button is located at the bottom right of the configuration area.

Figura 26

Interfaz Main conexión antenas NanoStation Loco M5 y NanoStation M5



Especificaciones Técnicas

Se realiza búsqueda sobre las especificaciones técnicas de los componentes según los fabricantes de cada equipo, cuya base de datos se establece de formato DataSheet.

Donde se adjuntan la información especificada en los siguientes enlaces.

Nano Station Loco M5

Guía de inicio rápido de NanoStationM/locoM-Serie. (n.d.). Ubnt.com. Retrieved October 29, 2024, from https://dl.ubnt.com/qsg/NanoStationM_NanoStationlocoM/NanoStationM_NanoStationlocoM_ES.html

NodeMCU ESP32

<https://www.alldatasheet.es/datasheet-pdf/pdf/1148023/ESPRESSIF/ESP32.html>

Broker MQTT

<https://www.hivemq.com/blog/mqtt-brokers-beginners-guide/>

Etapas 4: Implementación en la Zona

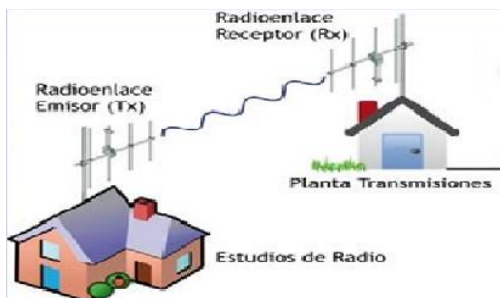
Planos

Se establecen imágenes en software de simulación y una recreación animada, para representar la topología física de los componentes electrónicos y el esquema estructural del radioenlace. Esto debido a que el proyecto está dividido en 2 fases que diferencian el apartado electrónico y el de telecomunicaciones.

En la Figura 27 se encuentra la topología física de un radio enlace de manera animada que permite visualizar una idea más específica que se debe implementar en el proyecto.

Figura 27

Esquema de un Radioenlace de Punto a Punto entre Estudios de Radio y Planta de Transmisión

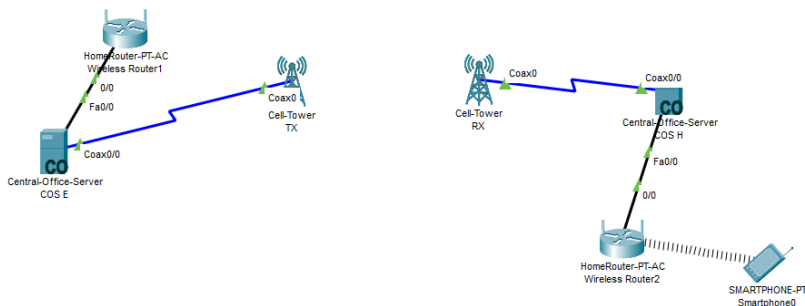


Nota. El diagrama representa la transmisión de señales desde un emisor (Tx) en los estudios hacia un receptor (Rx) ubicado en la planta de transmisiones mediante ondas de radio. Adaptado de Teoría de radioenlaces en radiocomunicaciones, por Tecnología-Informática, s.f. <https://www.tecnologia-informatica.es/tit/sistemas-de-radiocomunicaciones/>.

También se encuentra el esquema de la red en el simulador Cisco Packet Tracer (Figura 28), donde se representa la fase del proyecto en el apartado de Telecomunicaciones donde profundiza la visualización interna y estructural del sistema del radio enlace y componentes para la implementación con la siguiente fase.

Figura 28

Topología radioenlace simulador Cisco Packet Tracer



Se lleva a cabo la implementación de un sistema de pruebas a nivel de prototipo con el objetivo de analizar el comportamiento operativo real del sistema de encendido eléctrico de la iluminación externa como se visualiza en la figura 29, así como de identificar y optimizar parámetros funcionales y de control. Posteriormente, se realiza la adaptación e integración del sistema a escala completa en el entorno residencial seleccionado, incorporando los mecanismos electrónicos necesarios para la operación de la arquitectura IoT, junto con los módulos de comunicación inalámbrica Wi-Fi requeridos para su correcto funcionamiento.

Figura 29

Prototipo de conexión para iluminaria externa

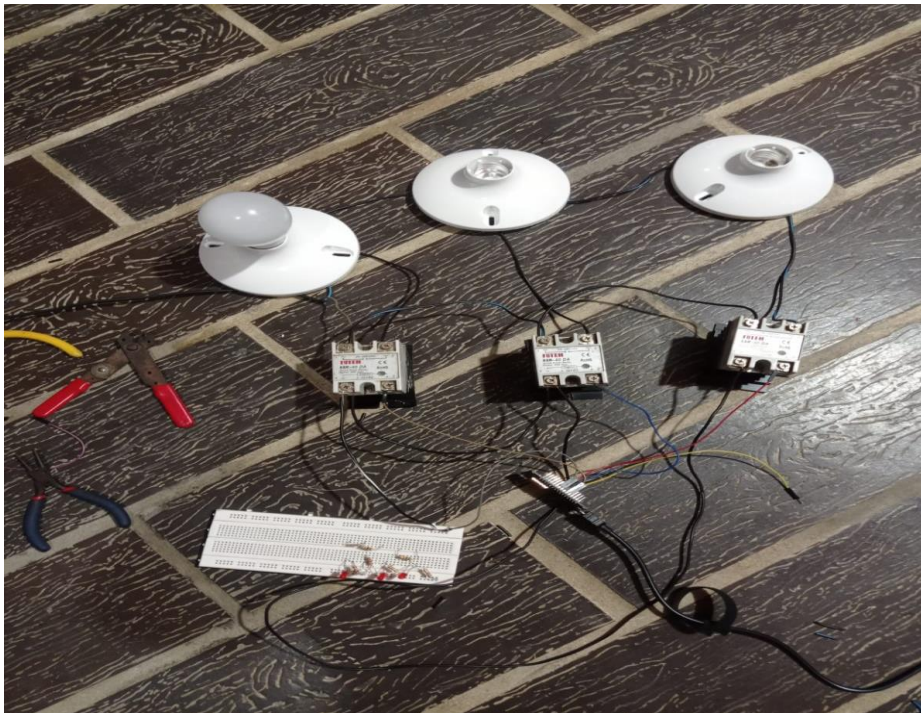
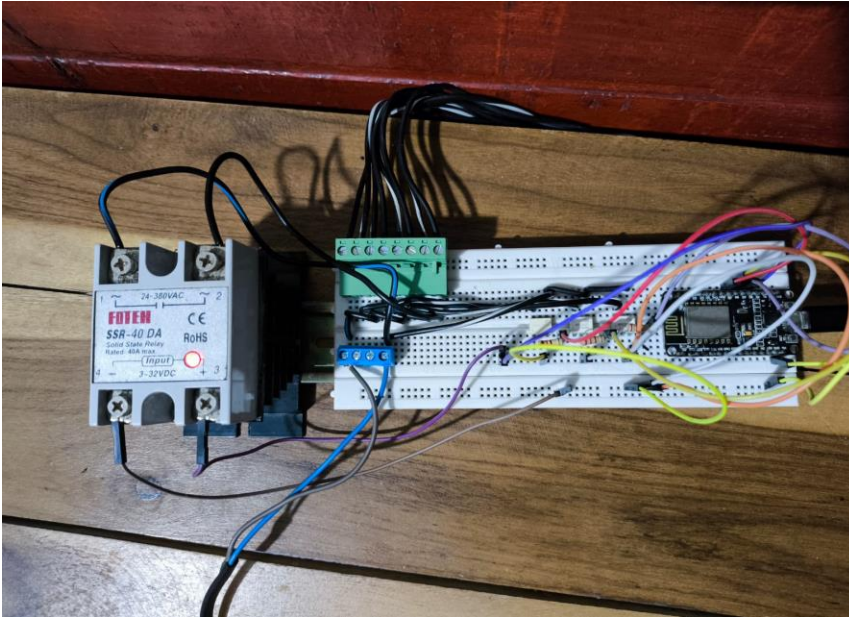


Figura 30

Montaje electrónico sistema de iluminaria externa.

**Figura 31**

Prototipo sistema de medidor de gas

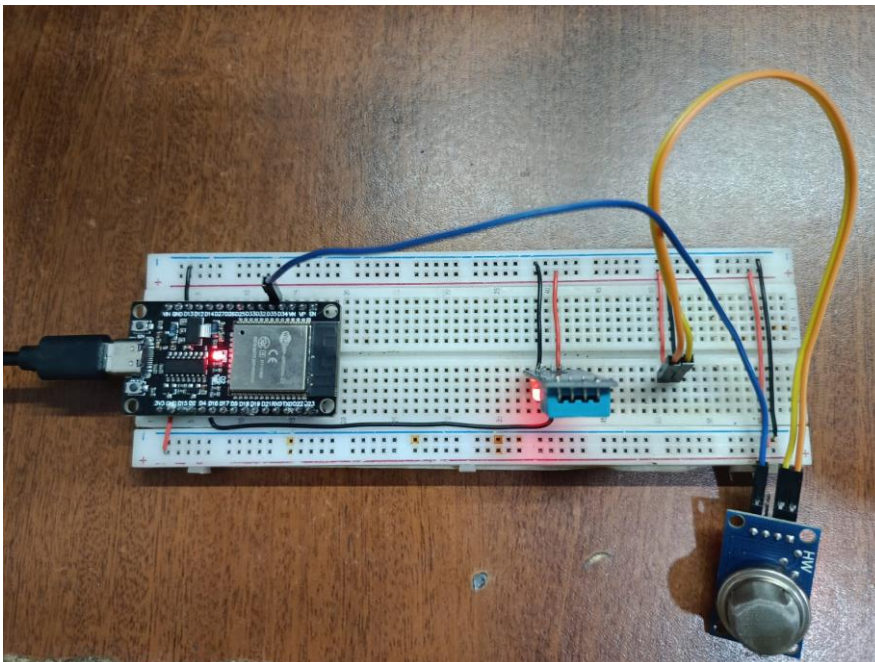


Figura 32

Implementación antena NanoStation Loco M5

**Figura 33**

Implementación antena NanoStation M5



Figura 34

Interfaz de enlace NanoStation Loco M5

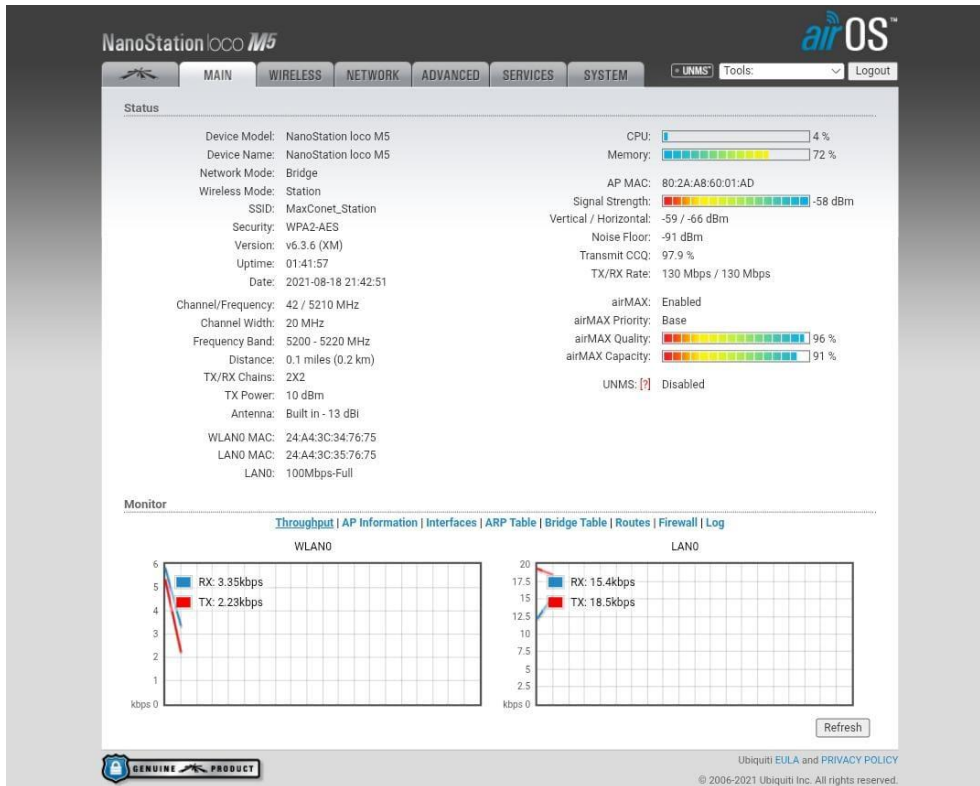


Figura 35

Test de Velocidad mediante equipo implementado en la vivienda

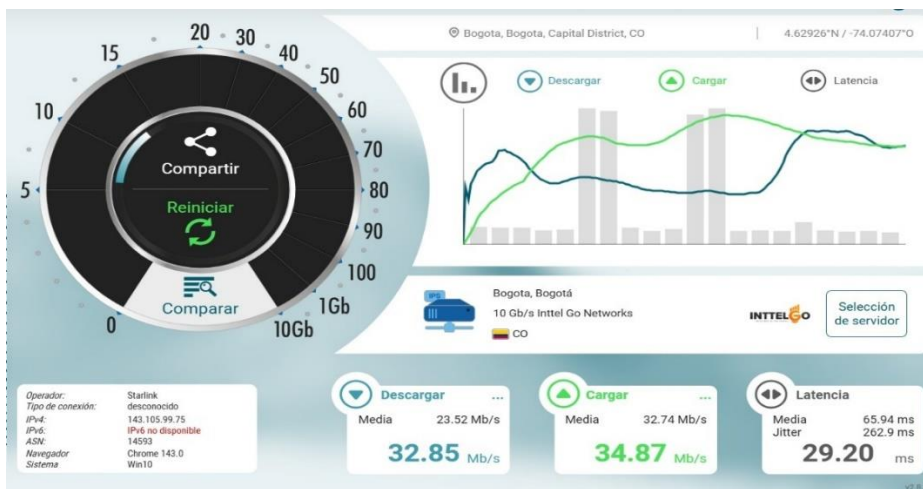


Figura 36

Caja proyecto y ubicación Sensor de Gas

**Figura 37**

Sensor de gas e interfaz gráfica en dispositivo móvil

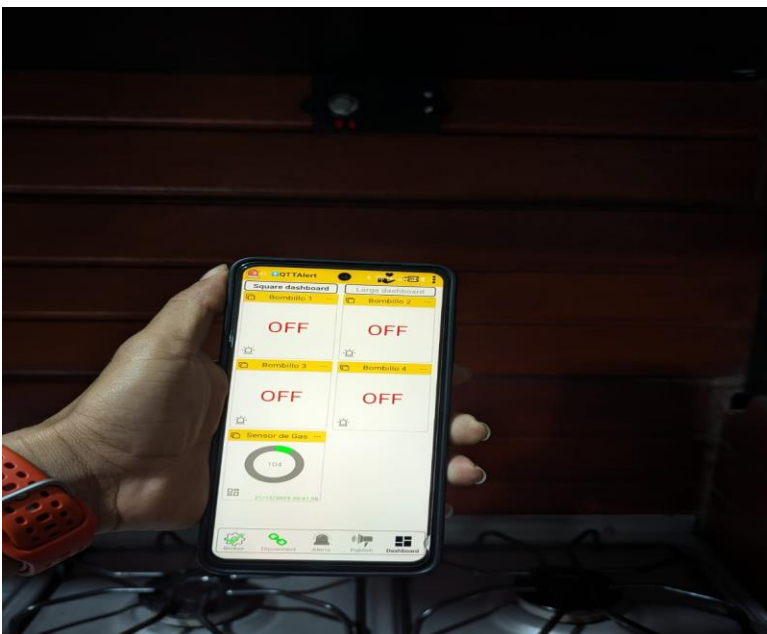
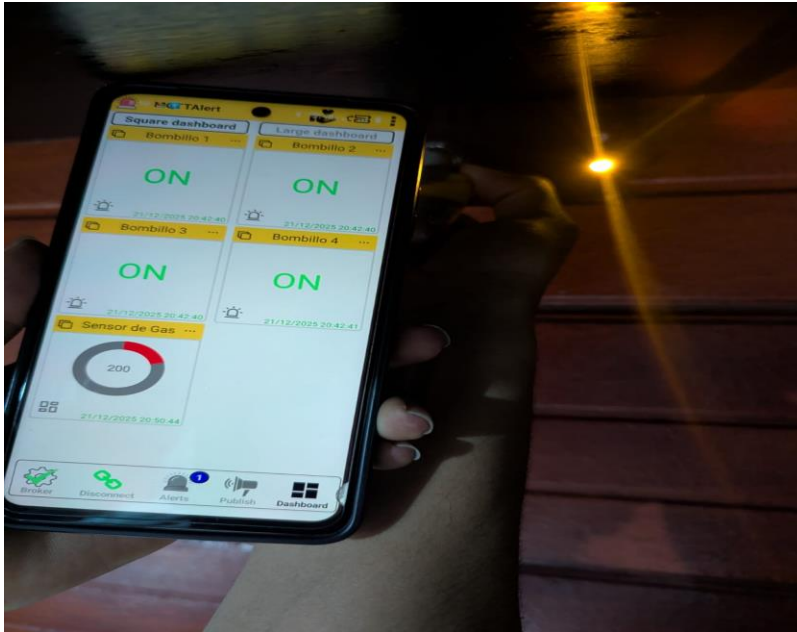


Figura 38

Visualización física y digital de alarma por presencia de gas

**Figura 39**

Visualización de panel de alertas establecidas para sensor de gas

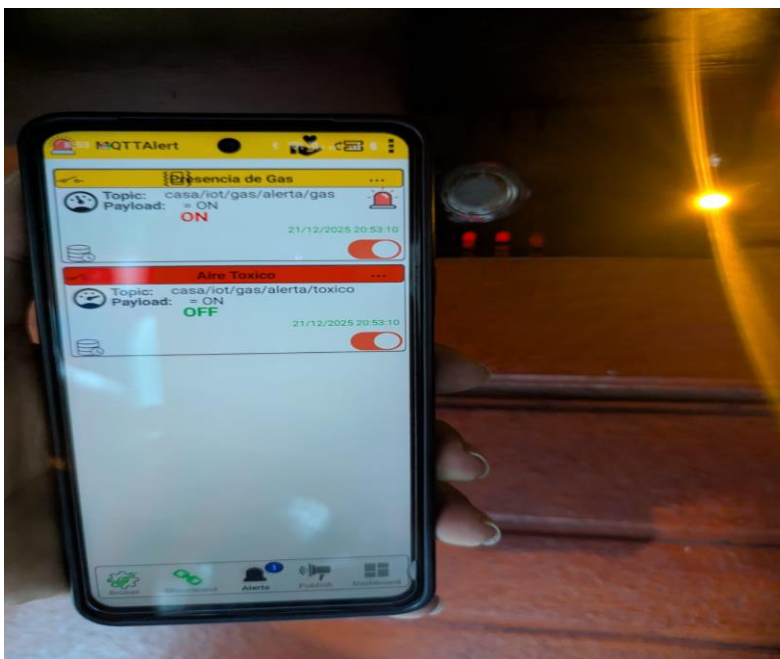
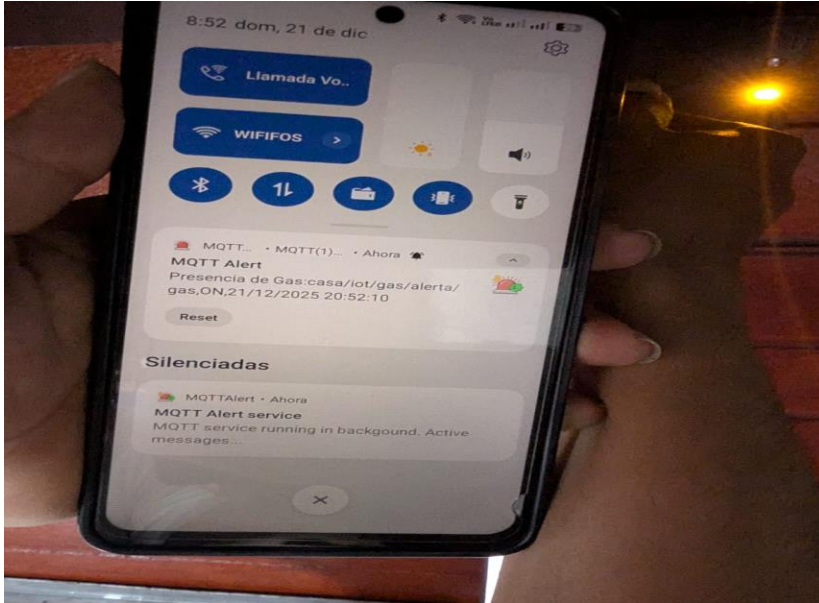


Figura 40

Notificaciones en dispositivo móvil por presencia de gas

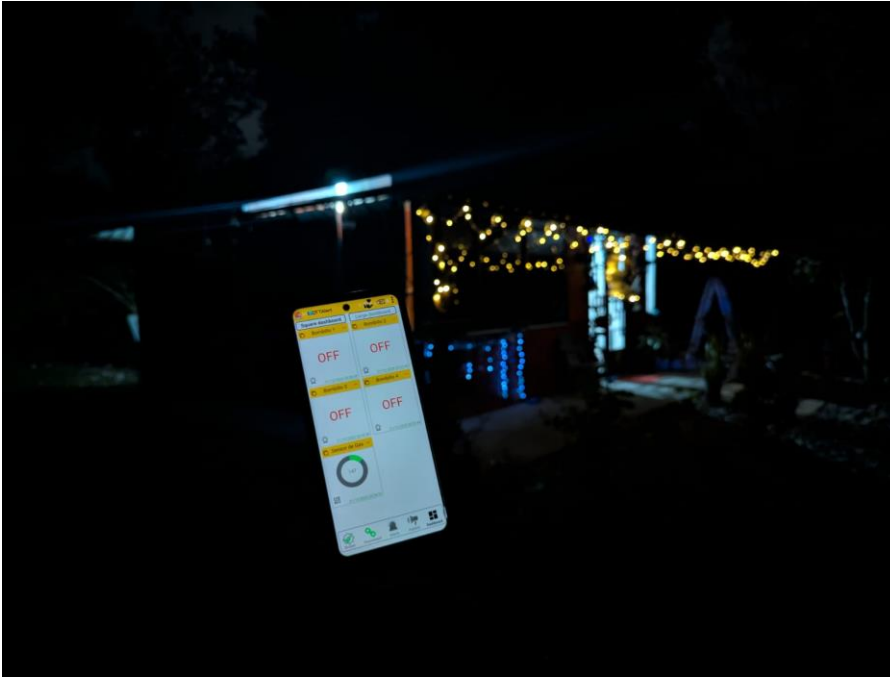
**Figura 41**

Caja de proyecto sistema de iluminaria externa



Figura 42

Interfaz en dispositivo móvil para activación iluminaria externa

**Figura 43**

Encendido iluminaria 1 mediante la interfaz móvil

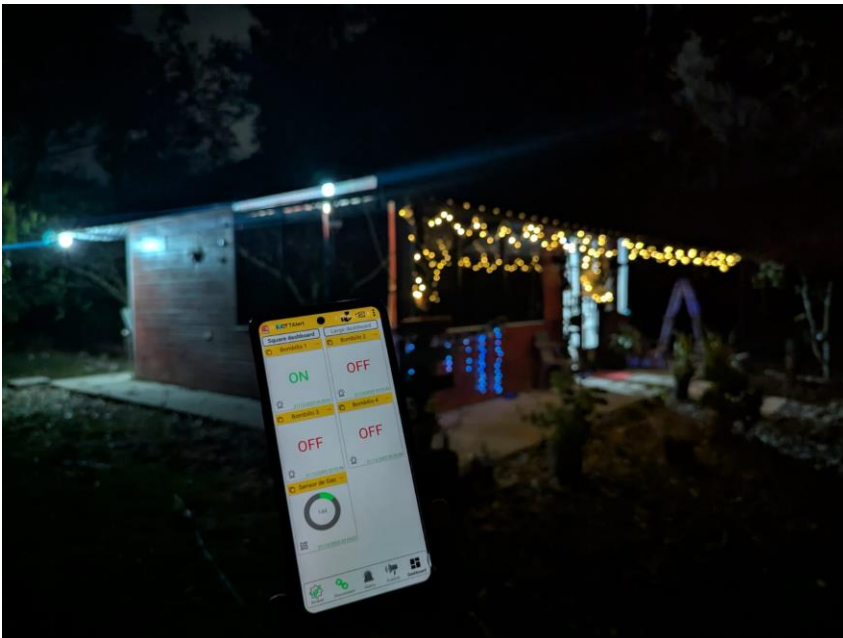
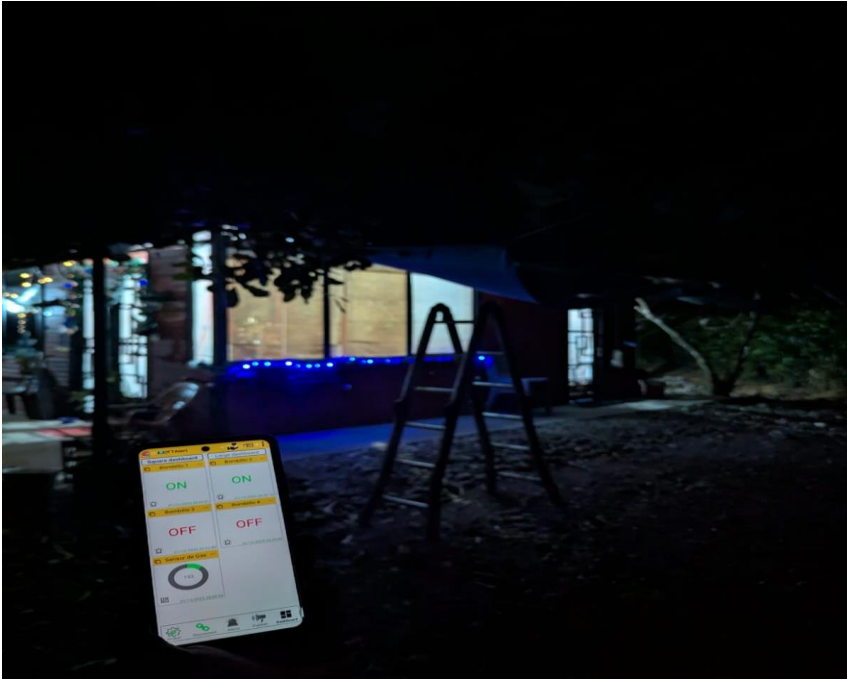


Figura 44

Encendido iluminaria 2 mediante la interfaz móvil

**Figura 45**

Encendido iluminaria 3 mediante la interfaz móvil

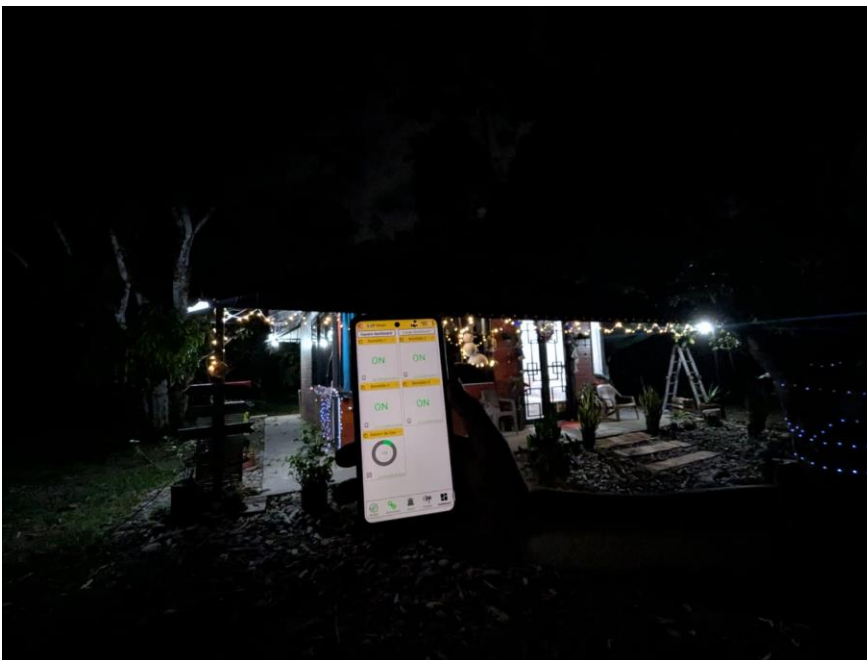


Figura 46

Encendido iluminaria 4 mediante la interfaz móvil

**Figura 47**

Visualización de Iluminarias externas e interfaz gráfica en dispositivo móvil



Enlace Códigos C++

<https://drive.google.com/drive/folders/1qRfkBcfwXHpIDSfvsK0T0ms0GKb70Z6>

W?usp=drive_link

Etapa 5: Evaluación de la Eficiencia o Impacto

Figura 48

Gráfico de respuestas de la encuesta preguntas 1 y 2.

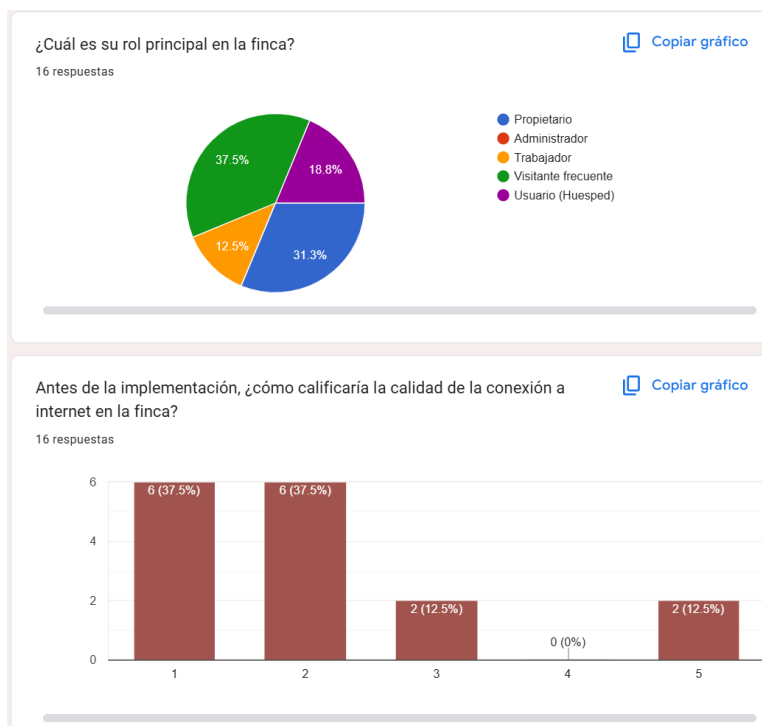


Figura 49

Gráfico de respuestas de la encuesta preguntas 3 y 4.

**Figura 50**

Gráfico de respuestas de la encuesta preguntas 5 y 6.

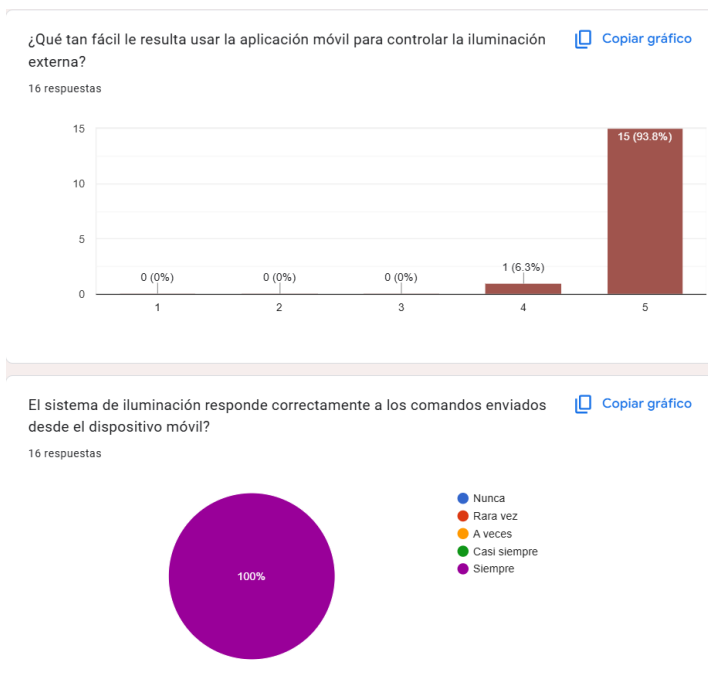


Figura 51

Gráfico de respuestas de la encuesta preguntas 7 y 8.

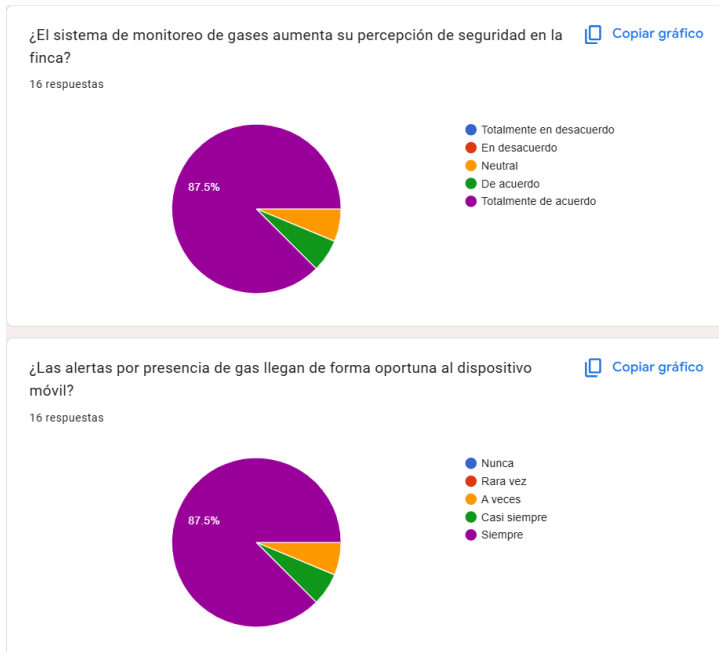
**Figura 52**

Gráfico de respuestas de la encuesta preguntas 9 y 10.

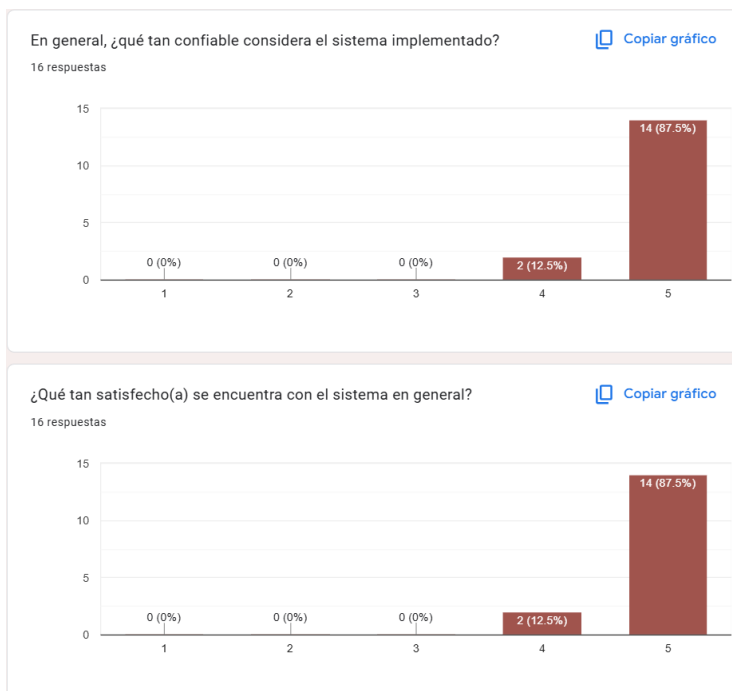
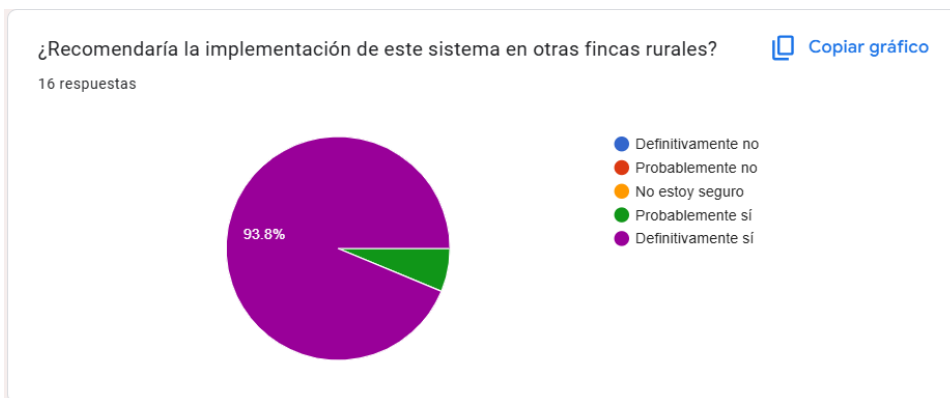


Figura 53

Gráfico de respuestas de la encuesta preguntas 11.



Los resultados de la encuesta de satisfacción, evidenciados muestran una percepción ampliamente positiva de los usuarios frente a la solución implementada; en la Figura 47 se identifica una mejora significativa en la calidad y estabilidad de la conectividad, mientras que en la Figura 48 se resalta el aumento en la velocidad de navegación y la reducción de interrupciones del servicio. Asimismo, la Figura 49 refleja una valoración favorable del sistema de automatización de la iluminación externa, destacando su facilidad de uso y respuesta eficiente, y la Figura 50 evidencia la percepción positiva del sistema de medición y alerta de gases como una herramienta clave para fortalecer la seguridad y la prevención de riesgos. Por su parte, la Figura 51 muestra un alto nivel de confianza en la confiabilidad y continuidad del sistema en operación, y finalmente la Figura 52 confirma una elevada satisfacción general y la disposición de los usuarios a recomendar o replicar la solución en otros entornos rurales, validando el cumplimiento de los objetivos del proyecto y su viabilidad técnica y social.

Evaluación Del Rendimiento De La Conectividad

La evaluación del rendimiento de la conectividad evidenció una mejora significativa tras la implementación del radioenlace punto a punto. Antes del proyecto, la finca presentaba una conexión inestable, con bajas velocidades y alta latencia, lo que limitaba el uso de servicios digitales y aplicaciones IoT. Posteriormente, las pruebas de velocidad y estabilidad demostraron un incremento notable en el ancho de banda disponible, una reducción considerable de la latencia y una mayor continuidad del servicio, confirmando que el sistema implementado cumple de manera eficiente con los requerimientos de conectividad para el control remoto y la transmisión de datos en tiempo real.

Evaluación De La Automatización De Iluminación Externa

La automatización de la iluminación externa fue evaluada a partir del funcionamiento del sistema de control remoto mediante la aplicación móvil. Los resultados evidenciaron una respuesta rápida y confiable en el encendido y apagado de las luminarias, sin fallos de comunicación entre los dispositivos IoT y la plataforma de control. En comparación con el sistema manual previo, la solución implementada optimizó la gestión de la iluminación, redujo la necesidad de intervención física y contribuyó a mejorar la seguridad perimetral, demostrando un impacto positivo en la eficiencia operativa del entorno rural.

Evaluación Del Sistema De Medición Y Alerta De Gases

El sistema de medición y alerta de gases mostró un desempeño adecuado durante las pruebas realizadas, respondiendo de forma oportuna ante concentraciones superiores a

los umbrales establecidos. La activación simultánea de alarmas locales y notificaciones remotas permitió una supervisión continua del ambiente, fortaleciendo la seguridad de la finca. En contraste con la ausencia de mecanismos de detección previos, la implementación del sistema IoT de monitoreo de gases representó una mejora sustancial en la prevención de riesgos ambientales, validando su utilidad y confiabilidad como herramienta de alerta temprana.

Plan De Mantenimiento

El radioenlace punto a punto está conformado por equipos inalámbricos que operan en la banda de 5 GHz y se encuentran configurados en modo puente, permitiendo la interconexión estable entre dos ubicaciones geográficamente separadas. La correcta operación de este sistema depende de la alineación precisa de las antenas direccionales, la integridad del cableado estructurado, la adecuada configuración de los parámetros de transmisión y la protección eléctrica del conjunto. Debido a su exposición a condiciones ambientales adversas, el sistema requiere un mantenimiento periódico que minimice la degradación de la señal y prevenga fallas estructurales o eléctricas.

El sistema de detección de gas basado en IoT está compuesto por un sensor de gas, un microcontrolador con conectividad inalámbrica y una plataforma de monitoreo remoto. Este sistema permite la medición continua de la concentración de gases combustibles o contaminantes y el envío de los datos a un servidor o aplicación en la nube para su visualización y análisis. La confiabilidad de las mediciones depende del estado físico del sensor, la estabilidad de la alimentación eléctrica, la correcta

comunicación con la red y la calibración periódica del dispositivo, factores que deben ser considerados dentro del plan de mantenimiento.

Plan De Mantenimiento Correctivo

El mantenimiento correctivo se aplica cuando se presenta una falla que afecta total o parcialmente el funcionamiento del sistema. En el caso del radioenlace, estas fallas pueden manifestarse como pérdida total de conectividad, reducción drástica del ancho de banda o interrupciones constantes del servicio. Ante esta situación, se debe realizar un diagnóstico técnico que incluya la verificación de la alineación de las antenas, el estado del cableado, la alimentación eléctrica y la configuración de red. Si se detecta un daño físico o electrónico, se procederá a la reparación o sustitución del componente afectado.

Para el sistema de automatización y monitoreo de gases, el mantenimiento correctivo implica la revisión del sensor, el microcontrolador y los actuadores cuando se presenten lecturas erráticas, ausencia de datos en la plataforma IoT o fallas en la activación de alarmas. En estos casos, se recomienda recalibrar el sensor, reiniciar el sistema, revisar las conexiones eléctricas y, de ser necesario, reemplazar el dispositivo defectuoso para restablecer el funcionamiento normal.

Plan De Mantenimiento Predictivo

El mantenimiento predictivo se basa en la supervisión continua de los parámetros operativos del sistema para anticipar posibles fallas antes de que estas ocurran. En el radioenlace, se deben monitorear indicadores como la intensidad de señal recibida (RSSI), la relación señal-ruido (SNR), la latencia y la pérdida de paquetes, los cuales pueden ser consultados a través de la interfaz de administración de las antenas.

Variaciones anormales en estos valores pueden indicar desalineación de las antenas, interferencias externas o deterioro progresivo de los equipos.

Para el sistema de monitoreo de gases, el mantenimiento predictivo consiste en analizar las tendencias de las mediciones registradas por el sensor. Lecturas inestables, valores atípicos constantes o un aumento en el tiempo de respuesta pueden ser señales de envejecimiento del sensor o problemas de alimentación eléctrica. De igual forma, se recomienda supervisar el consumo energético del microcontrolador y la estabilidad de la conexión Wi-Fi, anticipando fallas de comunicación o pérdida de datos.

Plan De Mantenimiento Preventivo

El mantenimiento preventivo tiene como objetivo principal evitar fallas mediante la ejecución periódica de inspecciones técnicas y tareas programadas. Para el sistema de radioenlace punto a punto, se recomienda realizar una revisión trimestral que incluya la limpieza externa de las antenas, eliminación de polvo, suciedad o residuos que puedan afectar la propagación de la señal, así como la verificación del estado físico de los mástiles, anclajes y soportes estructurales, asegurando su firmeza y correcta alineación.

Adicionalmente, se debe inspeccionar el cableado UTP y los conectores RJ45 para identificar posibles signos de desgaste, humedad o corrosión, especialmente debido a la exposición a condiciones ambientales propias de la zona rural. Se recomienda también verificar periódicamente la configuración de los equipos inalámbricos y mantener actualizado el firmware de las antenas Ubiquiti, con el fin de mejorar la seguridad, estabilidad y rendimiento del enlace.

En cuanto al sistema de automatización de iluminación y monitoreo de gases, el mantenimiento preventivo incluye la limpieza de los sensores, la revisión de conexiones eléctricas y la verificación del correcto funcionamiento de los relés de estado sólido. Asimismo, se recomienda comprobar periódicamente la correcta comunicación entre los módulos ESP32 y la plataforma IoT, asegurando que los datos se transmitan sin interrupciones.

Conclusiones

El diseño e implementación del sistema de conectividad a través de un radioenlace punto a punto se consolidó como una solución técnica eficaz para mitigar las limitaciones de acceso a internet en zonas rurales del municipio de Villavicencio, particularmente en la vereda Barcelona. Los resultados alcanzados demuestran que, incluso en contextos con infraestructura tecnológica restringida, es posible ofrecer un servicio de conexión estable y operativo mediante el uso adecuado de tecnologías inalámbricas correctamente planificadas y configuradas.

La incorporación de tecnologías IoT orientadas a la automatización de la iluminación exterior facilitó una gestión más eficiente del consumo energético en la finca, disminuyendo la dependencia de la intervención manual y fortaleciendo la seguridad perimetral. El sistema desarrollado evidenció un desempeño confiable y una respuesta oportuna mediante la interfaz móvil, lo que ratifica que la automatización remota es una solución efectiva para el control de dispositivos eléctricos en entornos rurales.

Asimismo, el sistema de monitoreo y alerta de gases, basado en sensores IoT, cumplió de manera satisfactoria con su propósito de vigilancia ambiental y prevención de riesgos. Este permitió la detección temprana de concentraciones peligrosas, así como la activación de alarmas locales y el envío de notificaciones remotas, constituyéndose en un avance relevante en materia de seguridad y gestión ambiental, especialmente en escenarios donde no se dispone de mecanismos automatizados de supervisión.

En conclusión, el proyecto evidencia que la integración de radioenlaces inalámbricos, microcontroladores y plataformas IoT representa una solución viable, escalable y de bajo costo para mejorar la conectividad y la automatización en zonas rurales. Esta propuesta aporta significativamente a la reducción de la brecha digital, fomenta la inclusión tecnológica y establece un referente para futuras iniciativas orientadas a la modernización de fincas rurales y otros entornos con características similares.

Referencias

- Al-Fuqaha, A., Guizani, M., Mohammadi, M., Aledhari, M., & Ayyash, M. (2015). Internet of Things: A survey on enabling technologies, protocols, and applications. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 17(4), 2347–2376.
<https://doi.org/10.1109/COMST.2015.2444095>
- Arduino. (2023). Getting started with Arduino.
<https://docs.arduino.cc/learn/getting-started/what-is-arduino>
- Bolton, W. (2015). *Programmable logic controllers* (6th ed.). Newnes.
- Departamento Nacional de Planeación. (2022). Política nacional de conectividad y digitalización rural.
- Digi International. (2024). The benefits of IoT in industrial and rural applications.
<https://www.digi.com>
- ESP8266 datasheet. (n.d.). AllDatasheet. Recuperado el 29 de octubre de 2024 de
<https://www.alldatasheet.com/html-pdf/1424861/ETC/ESP8266/131/2/ESP8266.html>
- Guía de inicio rápido de NanoStationM/locoM-Serie. (n.d.). Ubiquiti Inc.
Recuperado el 29 de octubre de 2024 de
https://dl.ubnt.com/qsg/NanoStationM_NanoStationlocoM/NanoStationM_NanoStationlocoM_ES.html
- Guzmán, R. (2005). *Radioenlaces punto a punto: Tecnologías y aplicaciones*. Editorial Académica.
- Hanwei Electronics. (2018). MQ gas sensors technical manual. Zhengzhou Winsen Electronics Technology Co., Ltd.

Blynk. (n.d.). Introduction. Recuperado el 29 de octubre de 2024 de <https://docs.blynk.io/en>

Kurose, J. F., & Ross, K. W. (2021). Computer networking: A top-down approach (8th ed.). Pearson.

Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones. (2022). Informe sobre el estado de la conectividad en zonas rurales de Colombia.

Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones. (2023). Informe anual de cobertura y conectividad digital en Colombia.

Ravelo, G. (2021). Conexión a servidores con Arduino y ESP8266. <https://learniot.com/conexion-arduino-esp8266-mqtt>

Ruesca, M. (2016). Fundamentos de telecomunicaciones. Editorial Académica Española.

Shah, A. (2019). Comparative study of Arduino boards: Uno, Mega, and Nano. <https://makerelectronics.com/comparative-study-arduino-boards>

SSR40DA datasheet. (n.d.). AllDatasheet. Recuperado el 29 de octubre de 2024 de <https://www.alldatasheet.com/html-pdf/1940523/ETC/SSR40DA/131/2/SSR40DA.html>

Tecnología Informática. (n.d.). Teoría de radioenlaces en radiocomunicaciones. Recuperado el 29 de octubre de 2024 de <https://www.tecnologia-informatica.es/tit/sistemas-de-radiocomunicaciones/>

Torres, L., & Rodríguez, A. (2020). Transformación digital en la agricultura: Impacto y retos en las zonas rurales. *Revista Tecnología y Agricultura*, 15(2), 45–58.

Wilson, J. (2020). Programming Arduino with Python and Firmata.

<https://pythonista.com/arduino-programming-python-firmata>