

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

SEDE ESMERALDAS



ESCUELA DE INGENIERÍA DE SISTEMAS Y COMPUTACIÓN

TESIS DE GRADO

**PLATAFORMA DE COMUNICACIÓN EN REDES INTELIGENTES
PARA EL CONTROL DE DISPOSITIVOS REMOTOS BASADO EN
INTERNET DE LAS COSAS**

**PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO DE
SISTEMAS Y COMPUTACIÓN**

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

REDES Y COMUNICACIONES

AUTOR:

JEAN PIERRE LEÓN SÁNCHEZ

ASESOR:

MGT. MANUEL NEVÁREZ TOLEDO

ESMERALDAS – 2021

TRIBUNAL DE GRADUACIÓN

Tema: PLATAFORMA DE COMUNICACIÓN EN REDES INTELIGENTES PARA EL CONTROL DE DISPOSITIVOS REMOTOS BASADO EN INTERNET DE LAS COSAS

Mgt. Manuel Nevárez Toledo

f. _____

ASESOR

PhD. Pablo Pico Valencia

f. _____

LECTOR 1

Mgt. Wilson Chango Sailema

f. _____

LECTOR 2

Mgt. Susana Patiño Rosado

f. _____

COORDINADORA DE LA ESCUELA DE SISTEMAS Y COMPUTACION

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD Y RESPONSABILIDAD

Yo, Jean Pierre León Sánchez, portador de la cédula de ciudadanía No. 0803606656, declaro que los resultados obtenidos en la investigación que presento como informe final, previo a la obtención del título de “Ingeniero en Sistemas y Computación”, son absolutamente originales, auténticos y personales.

Por esto, declaro que el contenido presente en este trabajo de investigación que incluye, conclusiones, los efectos legales y académicos son y serán de mi sola y exclusiva responsabilidad legal y académica.

Jean Pierre León Sánchez

C.I.: 0803606656

CERTIFICACIÓN

Mgt. Manuel Nevárez Toledo, docente investigador de la PUCE-Esmeraldas, certifica que: La tesis de grado realizada por Jean Pierre León Sánchez bajo el título “PLATAFORMA DE COMUNICACIÓN EN REDES INTELIGENTES PARA EL CONTROL DE DISPOSITIVOS REMOTOS BASADO EN INTERNET DE LAS COSAS”, reúne los requisitos de calidad, originalidad y presentación exigibles a una investigación científica y que han sido incorporadas al documento final las sugerencias realizadas, en consecuencia, está en condiciones de ser sometida a la valoración del tribunal encargado de juzgarla.

Y para que conste a los efectos oportunos, firma la presente en Esmeraldas, 18 de noviembre del 2020.

Mgt. Manuel Nevárez Toledo

Asesor

DEDICATORIA

Este trabajo de investigación está dedicado a los seres que más amo en este mundo: mis padres, Ángel León y Sonia Sánchez por su sacrificio y esfuerzo, por haberme forjado como la persona que soy actualmente, por creer en mi capacidad y siempre brindarme su apoyo cuando más lo necesite.

A mis hermanas Jessica y Angela que con sus palabras y compañía me brindaron la motivación para culminar mis estudios universitarios.

A Melanie Mite que siempre estuvo apoyándome para nunca rendirme y poder alcanzar mis metas.

A mis compañeros y amigos, quienes sin esperar algo a cambio compartieron su conocimiento, alegrías y tristezas, permitiéndome aprender más de la vida a su lado.

Jean Pierre León Sánchez

AGRADECIMIENTO

Agradezco a dios por guiarme en esta etapa de mi vida, por permitirme compartir este gran logro con mi familia. Agradezco a mi familia por apoyarme en las decisiones que tomo para mi futuro.

Agradezco a mis profesores por la paciencia en cada clase impartida, por sus enseñanzas y conocimientos para desarrollarme profesionalmente.

Jean Pierre León Sánchez

RESUMEN

El presente trabajo investigativo tuvo como finalidad el diseño, modelado y simulación de una arquitectura de red de comunicación para el control y monitoreo de dispositivos conectados a internet (IoT).

Para la ejecución de este proyecto fue de gran importancia hacer una exhaustiva revisión bibliográfica de trabajos investigativos con temáticas y objetivos similares al presente. Esto permitió recolectar las suficientes bases teóricas y antecedentes de trabajos como guía para cumplir con éxito la finalización de este trabajo de investigación.

Para el desarrollo de esta investigación se hizo un análisis de herramientas de simulación de redes de comunicación con la finalidad de escoger la que por características se adaptaba de mejor manera a los diferentes requerimientos de esta investigación. Se escogió el simulador de redes de comunicación de Cisco Packet Tracer, aplicación gratuita, diseñada para la simulación y testeo del funcionamiento de las redes, ciberseguridad y el internet de las cosas (IoT).

El software de simulación de redes Packet Tracer permitió implementar diferentes tecnologías que intervienen en redes inteligentes (energías renovables, red de telefonía celular, Internet de las cosas, monitoreo y control, medición avanzada, etc.) las mismas que asociadas con las redes de comunicación permitieron cumplir con los objetivos de la investigación.

Para comprobar el funcionamiento del modelo de arquitectura de red propuesto se realizaron pruebas de envíos de paquetes a lo largo de la red. De esta manera fue posible medir el rendimiento de red. Donde se comprobó que el modelo de red propuesto es fiable, seguro y eficaz, por lo que puede ser empleado para el desarrollo de futuras investigaciones en el ámbito de comunicaciones de redes inteligentes.

Palabras claves: Simulación, arquitectura, comunicación, red, medición, control.

ABSTRACT

The purpose of this research work was to design, model and simulate a communication network architecture for the control and monitoring of Internet-connected devices (IoT). For the implementation of this project it was of great importance to make an exhaustive bibliographic review of research work with themes and objectives similar to the present. This allowed to collect sufficient theoretical bases and background of work as a guide to successfully fulfill the completion of this research work.

For the development of this research, an analysis of communication network simulation tools was carried out in order to choose the one that by characteristics best suited the different requirements of this research. The Cisco Packet Tracer Communication Network Simulator, a free application, was chosen for testing and testing the operation of networks, cybersecurity and the Internet of Things (IoT).

Packet Tracer network simulation software allowed to implement different technologies involved in intelligent networks (renewable energies, cellular network, Internet of Things, monitoring and control, advanced measurement, etc.) the same as associated with communication networks allowed to meet the objectives of the research.

To check how the proposed network architecture model works, packet shipment testing was performed across the network. In this way it was possible to measure network performance. Where the proposed network model was found to be reliable, secure and effective, so it can be used for the development of future research in the field of smart network communications.

Keywords: Simulation, architecture, communication, network, metering, control

ÍNDICE GENERAL

| | |
|---|-------------|
| TRIBUNAL DE GRADUACIÓN..... | II |
| DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD Y RESPONSABILIDAD..... | III |
| CERTIFICACIÓN | IV |
| DEDICATORIA | V |
| AGRADECIMIENTO..... | VI |
| RESUMEN | VII |
| ABSTRACT | VIII |
| Introducción..... | 1 |
| Presentación del tema | 1 |
| Planteamiento del problema..... | 1 |
| Justificación | 3 |
| Objetivos..... | 5 |
| Objetivo general..... | 5 |
| Objetivos específicos..... | 5 |
| CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO..... | 6 |
| 1.1 Antecedentes..... | 6 |
| 1.2 Bases Teóricas | 9 |
| 1.2.1 Energías Renovables..... | 9 |

| | | |
|--|--|-----------|
| 1.2.2 | Redes Inteligentes..... | 11 |
| 1.2.3 | Aplicaciones de las redes inteligentes | 8 |
| 1.2.4 | Sistemas de micro red inteligente..... | 10 |
| 1.2.5 | Comunicación en redes inteligentes | 12 |
| 1.2.6 | Software de simulación de redes de Comunicación | 16 |
| 1.3 | Marco legal | 18 |
| CAPÍTULO II: MATERIALES Y MÉTODOS | | 19 |
| 3.1 | Tipo de investigación..... | 19 |
| 3.2 | Métodos..... | 19 |
| 3.3 | Fuentes de Información..... | 19 |
| 3.4 | Materiales (herramientas y tecnologías empleadas) | 19 |
| 3.4.1 | Análisis de software para el diseño de red y sus componentes | 20 |
| CAPÍTULO III: ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS ... | | 24 |
| 3.1 | Análisis del diseño de red del modelo propuesto..... | 24 |
| 3.2 | Enrutamiento RIP, análisis de su implementación dentro de la red del modelo propuesto..... | 35 |
| 3.3 | Análisis de los dispositivos IoT conectados a la red..... | 36 |
| 3.3.1 | Energías renovables y IoT | 41 |
| CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN | | 50 |
| CAPITULO V: CONCLUSIONES | | 51 |
| RECOMENDACIONES | | 52 |

| | |
|---------------------------|-----------|
| BIBLIOGRAFÍA | 53 |
|---------------------------|-----------|

Índice de Figuras

| | |
|---|----|
| Figura 1. Arquitectura de red inteligente..... | 6 |
| Figura 2. Estructura de una micro red inteligente [44]..... | 11 |
| Figura 3. Plataforma de estacionamiento de vehículos eléctricos..... | 12 |
| Figura 4. Subredes de comunicación de redes inteligentes. | 13 |
| Figura 5. Entorno de Cisco Packet Tracer..... | 22 |
| Figura 6. Plano Interconexión del modelo propuesto..... | 25 |
| Figura 7. Diseño de red de la modelo propuesta. | 28 |
| Figura 8. Casa modelo “Noelia”..... | 29 |
| Figura 9. Dispositivos de red utilizados en la vivienda..... | 29 |
| Figura 10. Configuración del servidor DHCP (Server DHCP 13). | 31 |
| Figura 11. Configuración del router 13. | 31 |
| Figura 12. Configuración de la nube o proveedor de servicio. | 32 |
| Figura 13. Dominios dentro del servidor DNS..... | 33 |
| Figura 14. Configuración IP de los servidores IoT | 34 |
| Figura 15. Interfaz de IoT monitor..... | 34 |
| Figura 16. Enrutamiento RIP versión 2..... | 36 |

| | |
|--|----|
| Figura 17. Simulación de transferencia de información con protocolo RIPv2. | 36 |
| Figura 18. Conexión de los elementos IoT al Access Point. | 37 |
| Figura 19. Conexión de los elementos IoT a un servidor remoto IoT..... | 38 |
| Figura 20. Acceso con credenciales establecidas en servidor IoT. | 38 |
| Figura 21. Dispositivos IoT conectados a la red de la vivienda..... | 39 |
| Figura 22. Manipulación y monitoreo de los dispositivos IoT dentro de una vivienda. | 40 |
| Figura 23. Simulación de transferencia de información con protocolo IoT-TCP | 41 |
| Figura 24. Pantalla de entorno de pruebas de Packet Tracer..... | 42 |
| Figura 25. Mayor cantidad de la energía emitida por el sol en un rango de tiempo. | 43 |
| Figura 26. Visualización de estado de batería, paneles solares y contador inteligente en tiempo real..... | 44 |
| Figura 27. Comportamiento de las ráfagas de viento y dirección del viento. | 45 |
| Figura 28. Pantalla de entorno de pruebas de Packet Tracer..... | 46 |
| Figura 29. Aerogeneradores y contadores inteligentes de potencia. | 46 |
| Figura 30. Energía eólica y contador inteligente..... | 47 |
| Figura 31. Ejecución de un mismo comando en diferentes intervalos de tiempo. | 49 |

Índice de Tablas

| | |
|---|---|
| Tabla 1. Características de redes de electricidad [27]. | 5 |
| Tabla 2. Protocolos de seguridad para redes inteligentes. | 8 |

| | |
|--|----|
| Tabla 3. Tabla comparativa de redes de comunicación..... | 14 |
| Tabla 4. Medios de trasmisión de las SG [36],[52],[53]. | 15 |
| Tabla 5. Características de simuladores de red [59],[54],[60]..... | 20 |
| Tabla 6. Tabla de direccionamiento IP..... | 26 |
| Tabla 7. Dispositivos utilizados para simular alimentación la red eléctrica del modelo propuesto | 43 |

Introducción

Presentación del tema

En la presente investigación titulada “PLATAFORMA DE COMUNICACIÓN EN REDES INTELIGENTES PARA EL CONTROL DE DISPOSITIVOS REMOTOS BASADO EN INTERNET DE LAS COSAS” está enfocada en el modelo y simulación de una red de comunicación inteligente bidireccional para la transferencia de datos, resultados que se obtienen a través de instrumentos de control y medición (equipos, aparatos y productos) que sirven para cuantificar e intervenir de forma apropiada los dispositivos vinculados tanto a la red de eléctrica como a la red comunicación, mejorando así la calidad de los servicios de información, la seguridad, la eficiencia económica y energética. La corporación suiza Asea Brown Boveri (ABB) menciona que las redes inteligentes con su traducción al inglés Smart Grid (SG) apuntan hacia el futuro de los sistemas eléctricos [1], al estar diseñadas con la finalidad de satisfacer cuatro requisitos importantes en la sociedad global como son la: eficiencia, fiabilidad, capacidad y sostenibilidad.

Planteamiento del problema

A inicios del siglo 20 con la finalidad de robustecer el sistema eléctrico de potencia convencional se realizó la interconexión de varias compañías. No obstante, en 1960 la red comenzó a fallar: nuevos clientes rurales y urbanos, uso masivo de la energía eléctrica y un sistema complejo que no ha sufrido mayores cambios en los últimos años, lo tornó un sistema ineficiente, con líneas de transmisión fuertemente cargadas y márgenes de estabilidad reducidos.

Hoy en día, el sector eléctrico se enfrenta a un nuevo paradigma energético muy parecido al que vivió aproximadamente hace 120 años con Nikola Tesla y Thomas Alba Edison de protagonistas. El dilema, la creación de un sistema centralizado o distribuido. Tesla con su propuesta de producir energía eléctrica en plantas construidas cerca de las fuentes de energía primaria se impuso, y adquirió tanto éxito que sigue vigente hasta nuestros días. Desastres naturales, ataques humanos y perturbaciones de los sistemas, son factores que

ocasionan problemas en la comunicación de redes eléctricas, provocando que estas se deterioren y ocasionen cortocircuitos [2]. Estos problemas son cada vez más frecuentes empezando por su antigüedad de infraestructura e improductividad económica hasta la inclusión necesaria del uso de energías renovables para la mejora en la calidad energética. La modernización de infraestructura de red eléctrica no solo se enfoca en la instalación de equipos mejorados a través de toda la red. La parte más importante es sacar provecho de la información que proporcionan estas mejoras, por lo que se necesita manejar una gran cantidad de datos que requerirán de una infraestructura adecuada.

La implementación de las energías renovables en las SG permite a los usuarios consumir y producir energía a través de la misma red, por lo que se obtiene un flujo de energía en dos direcciones que sirve para controlar los requerimientos del consumidor. Esto facilita la reducción del consumo de energía, los costes e incrementar la usabilidad y eficiencia de la red.

Debido a los nuevos retos que existen en el campo eléctrico, es necesario desarrollar tecnologías y sistemas más flexibles que se encarguen de la evolución y desarrollo de las redes eléctricas tradicionales, es aquí donde surge la tecnología de las redes inteligentes como mejora a las redes comunes las cuales no desarrollan una comunicación entre los suministros y los centros de control de red. Se pretende que las comunicaciones en las redes eléctricas tengan como característica la transferencia de datos de forma bidireccional, con la finalidad de facilitar una interacción generalizada en tiempo real con los clientes, los mismos que contarán con contadores inteligentes que ofrecen la característica del monitoreo constante de la red permitiendo obtener de manera más detallada el consumo eléctrico y ayudando a facilitar la transferencia de información al centro de control.

En los últimos años la tecnología de redes inteligentes, las redes de comunicación y las tecnologías de la información han recibido una gran atención por parte del mundo de la industria, empresa, y la academia. Es por ello que existen hoy en día varios simuladores de redes de comunicación que permiten realizar prácticas virtuales de diferentes características redes antes de ser implementadas con la finalidad de evitar errores en el funcionamiento que se puedan cometer a la hora de su implementación.

Justificación

El sistema eléctrico desde sus inicios cumple con funciones básicas, transmisión y distribución, por consecuencia a esto, es necesario que se proporcione al consumidor un mejor servicio, adaptándose a la constante demanda y a la inclusión nuevas tecnologías que permitan obtener una mejoría en la calidad y estabilidad de la red eléctrica haciendo uso de energías renovables como recurso importante en el abastecimiento de la red. La necesidad de actualizar las redes eléctricas tradicionales por las desventajas que presentan, una infraestructura con limitaciones como el no poder mostrar el consumo energético en tiempo real, la comunicación unidireccional que priva de obtener información importante de lo que pasa en la red, no brindan la capacidad de producir y remitir energía que es hoy en día donde se desea llegar siendo esto un aporte favorable hacia la sostenibilidad.

Las SG se definen como una combinación de la red eléctrica tradicional (generación, transmisión, distribución y comercialización, incluidas las energías alternativas) con las redes de comunicaciones. Este concepto revoluciona la administración, el monitoreo y el mantenimiento de la red eléctrica, haciéndolo inteligente contra sobrecargas, caídas, apagones y caídas de voltaje, disminuyendo los tiempos de respuesta a estos problemas y facilitando la transferencia de información de forma bidireccional.

Las redes inteligentes se presentan como solución a inconvenientes ostentados por la red eléctrica común, la automatización y la irrupción de nuevas tecnologías de la información y comunicación juegan un papel importante en la mejora de la calidad de energía y los servicios de información, garantizando así la seguridad, la eficiencia económica y energética en el suministro de energía eléctrica a el consumidor. Esto permite una mayor integración entre el mundo físico y sistemas basados en computadoras, lo que a largo plazo da lugar a una mayor eficiencia, precisión y beneficio económico.

Las redes de comunicación son las encargadas de permitir el control remoto de los dispositivos, así como también se ocupan de la transferencia de información, los sistemas

de control, supervisión y registro de datos necesitan de estas redes para poder cumplir su función.

Se observa la necesidad y la importancia de realizar esta investigación, ya que las redes inteligentes, las tecnologías de la información y las comunicaciones, la medición y control inteligente se han convertido en herramientas indispensable para la funcionabilidad de servicios como: televisión, telefonía, mensajería entre otros, hacia una única red de comunicaciones, esto hace que Internet sea parte esencial en nuestras vidas. El Internet de las cosas (IoT) es una innovación tecnológica que permite transformar objetos, artefactos, dispositivos físicos en “objetos inteligentes”. Todas las cosas que nos rodean estarán conectadas transmitiendo y recibiendo información a través de redes inalámbricas sin la necesidad de la intervención humana. Con la finalidad de facilitarnos la vida y hacerla más eficiente, ya sea en consumos energéticos, en administración de finanzas e incluso en la utilización de nuestro tiempo. Colocando como ejemplo, un "termostato inteligente recibe datos de la ubicación de su automóvil inteligente mientras conduce, y los utiliza para ajustar la temperatura de su casa antes de que llegue.

Objetivos

Objetivo general

Realizar un estudio de la infraestructura tecnológica necesaria, tanto de equipos como de redes de comunicación para el modelado y simulación del comportamiento de una red inteligente basada en protocolos de comunicación de datos.

Objetivos específicos

- a) Verificar el funcionamiento de redes inteligentes y los protocolos de comunicación de datos a nivel de red.
- b) Describir un modelo de infraestructura de red de comunicación para una red inteligente.
- c) Crear un modelo de red de comunicación que permita el control y monitoreo de dispositivos IoT en una red inteligente.
- d) Evaluar el modelo de red de comunicación creado a través de la simulación.

CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO

1.1 Antecedentes

En esta sección se presenta una revisión sistemática de artículos relacionados con el tema Redes Inteligentes, conocidas como Smart Grid (SG), su funcionamiento, como es su comunicación, etc. Estos fueron de gran importancia para el desarrollo del presente estudio investigativo.

En la investigación de Dönük et al. [3], se hace referencia a la construcción de un sistema de medición inteligente de microescala para la obtención del consumo de energía en una área de tamaño reducido, las cuales pueden ser una habitación, la sala, una planta de un edificio basándose en las tecnologías que ofrecen las SG. Se realizó una simulación partiendo de los diseños de red eléctrica y la red de comunicación, al mismo tiempo los datos obtenidos se procesaron para establecer perfiles de consumo tomando en cuenta las tarifas establecidas en diferentes horarios.

En el trabajo de investigación Ilamparithi et al. [4], destaca la necesidad de simuladores en tiempo real para estudios sobre Smart Grid, estos simuladores son importantes a la hora de probar y validar un algoritmo de protección y control, el estudio presenta 3 aplicaciones, la detección de flujo de energía inversa utilizando la unidad de medición de fasor, la validación de control de supervisión de una micro-red y la evaluación de seguridad cibernética en una red inteligente.

Por otro lado Shi et al. [5], describen los objetivos que deben cumplir las redes inteligentes para satisfacer las exigencias del consumidor: una distribución de energía eficaz y segura. Por lo que este texto expone una arquitectura de red de transmisión de datos para ampliar la cobertura y la velocidad con la que se trasladan los datos a través de la implementación de una red de comunicación inalámbrica de tipo malla satisfaciendo así los requerimientos de las SG.

En cuanto Luan et al. [6], Destacan que las redes inteligentes con el pasar del tiempo se han convertido en un tema de investigación importante, las SG hacen uso de los avances de las tecnologías de la información (TI) y la telecomunicación con el fin de mejorar su

funcionamiento. Se menciona a las redes de comunicación como un aporte importante en el futuro de las SG, por lo que es necesario realizar una correcta planificación que permita la adaptación a un futuro crecimiento y la implementación de nuevas tecnologías.

En resumen en Luan et al. [6], presenta una guía de planificación para redes de comunicación de área amplia. Donde la información recolectada de la red es clasificada en medición inteligente, monitoreo y control de la red, aplicaciones y servicios.

Por otro lado Barghi et al. [7], hace mención del futuro de las SG y de cómo esta tecnología está siendo cada vez más utilizada en las casas y edificios, esto a través de equipos, aparatos, dispositivos con conexión a la red de internet. El estudio propone una unidad central de programación de dispositivos que se conectan a la red y son monitoreados por medidores inteligentes instalados en los edificios, así mismo la unidad central debe realizar una programación diaria y una semanal de las diferentes plantas de acuerdo con los precios de electricidad brindados por la empresa que provee los servicios de electricidad.

En la investigación realizada por Basal et al. [8], analiza la tecnología de las Smart Grid, exhiben diferentes formas en que la red inteligente puede superar o reparar diferentes problemas que pueda presentarse en una red eléctrica convencional. También se ha explicado que la red inteligente puede monitorear el sistema de administración de energía del hogar, permitiendo así a los consumidores hacer uso eficiente de la energía que se verá reflejada en la factura de consumo.

En la investigación de Farooq et al. [9], describen a las redes inteligentes como una versión actualizada de las redes eléctricas, hacen uso de las redes de comunicación para funcionamiento eficiente de la red en la generación, transmisión y distribución de energía. En la actualidad existen una amplia gama de tecnologías de comunicación para proporcionar la transferencia de información en la red inteligente. Este documento presenta varias opciones utilizadas para la comunicación de SG tomando en cuenta el tipo de red que se esté utilizando junto con sus requisitos y limitaciones.

Por otro lado, en el trabajo de investigación de Giral et al. [10], indican que en Colombia requieren el análisis integral de una red eléctrica y comprobar que cumpla con los

siguientes parámetros como: compartir información en tiempo actual, operaciones totalmente automatizadas y la localización de fallas de los servicios de aislamiento y poder cumplir con la demanda de los consumidores. Implementando características de una red eléctrica inteligente en una red eléctrica tradicional, para así promover al desarrollo de proyectos de investigación enfocados en la implementación y gestión de fuentes modernas de energía.

En cuanto a Cui et al. [11], se describe a las SG como un nuevo tipo de red de electricidad debido al uso de nuevas tecnologías de medición avanzada, tecnologías de la información y de la comunicación, además de una característica importante para su funcionamiento que es poder transferir y visualizar información en tiempo real,

En resumen en Cui et al. [11], se explica cómo el progreso del diseño de redes inteligentes ha desempeñado un rol valioso en la red de comunicación del sistema de energía eléctrica. Además, abarca la importancia del desarrollo de redes inteligentes, el análisis de la comunicación de energía eléctrica y el rol que desempeña en la red inteligente y la comunicación de energía.

En la investigación Daryapurkar et al. [12], se manifiesta la importancia de mantener los datos de una red de comunicación segura, confiable y eficiente. Este artículo establece distintos estándares de comunicación inalámbrica para el desarrollo de una red de comunicación de red inteligente. Presenta un resumen general del trabajo investigativo utilizando WiMAX, GSM, GPRS y comunicación celular UMTS, LTE, ZigBee, Bluetooth y WLAN, como tecnologías esenciales para el funcionamiento de la comunicación de las redes inteligentes además de proporcionar mayor seguridad en cuanto a el manejo de grandes cantidades de datos.

En resumen Mincov et al. [13], explican el desglosamiento de los subsistemas de un sistema de red inteligente. De cómo la red eléctrica se moderniza a través de la inclusión de nuevas tecnologías en los campos de automatización, comunicación, monitoreo y control con el fin de brindar un servicio de energía confiable para los usuarios. Describe retos y objetivos que deben cumplir las SG a través de modelos referencia interoperables. Los resultados de este trabajo de investigación proporcionan las bases del camino a seguir a través del cumplimiento de varios requerimientos para obtener una buena red de

comunicación para SG interoperables. La comunicación como una tecnología importante en el funcionamiento de las SG, ayudando en la mejora de la eficacia energética, la implementación de energía renovables en la red como un aporte importante para el cuidado del medio ambiente, fomentando la innovación para permitir el uso de nuevas tecnologías informáticas y servicios existentes en el mercado. Las redes inteligentes brindan a los consumidores un mayor protagonismo y le proporcionan resistencia contra ataques físicos y cibernéticos [14].

1.2 Bases Teóricas

1.2.1 Energías Renovables

La energía es una de las principales necesidades que tiene el hombre para poder desarrollar sus diferentes actividades de la vida cotidiana (cocinar, calentarse el agua entre otras). Las energías renovables se pueden obtener a partir de recursos como luz solar, la hidráulica y eólica. Estas conforman los tres fundamentos del desarrollo sostenible como son: calidad medioambiental, social y económico [15].

1.2.1.1 Tipos de energías renovables

Energía solar

La energía solar o energía fotovoltaica se obtiene a través del Sol, es considerada inagotable, permite generar electricidad y calor. Para captar la radiación solar y poder hacer la transformación a energía eléctrica se utilizan paneles solares [16].

Los beneficios de utilizar energía solar

- i. Es un tipo de energía Renovable
- ii. Inagotable
- iii. No produce daños al ambiente es no contaminante
- iv. Reduce el uso de combustibles fósiles
- v. Reduce el porcentaje de importaciones energéticas
- vi. Favorece al desarrollo sostenible [17],[18],[19].

Energía hidroeléctrica

El agua como fuente de energía es un elemento esencial en el sector energético. Las centrales hidroeléctricas convierten en energía eléctrica la diferencia de energía potencial que tiene una determinada masa de agua al trasladarla entre dos puntos situados a distinta altitud o cota. La explotaciones hidroeléctricas no producen contaminación y lo más importante es que el agua no sufre deterioros o daños por lo que se la podría reutilizar para otros fines como riego, uso sanitario o industriales entre otros [20] .

Beneficios de la energía hidroeléctrica

- No requieren de combustible utilizan energía renovable.
- Es un tipo de energía limpia, no contamina al medio ambiente.
- La turbina hidráulica es un tipo de maquinaria eficaz y segura, funciona de una manera casi autónoma.

Energía Eólica

El sector energético, y particularmente el de las Energías Renovables (ER) es una de las áreas en que más se destaca la participación de capitales chinos. Esta se da dentro de la generación de electricidad de esas fuentes, a través de IED, financiamiento o provisión de equipamientos.

Su uso se ha incrementado gracias a su capacidad de generar energía eléctrica limpia, esta se produce a través del aprovechamiento de la fuerza cinética ocasionada por el viento, la energía eólica se la utiliza principalmente para la obtención de energía eléctrica a través de aerogeneradores. [21].

Existe un parque eólico marino en la región costera de Guangdong - China, este utiliza torres eólicas para la obtención de energía, cuenta con una ubicación privilegiada, el viento del noreste con velocidad superior a 8 m / s prevalece en otoño e invierno y el viento del sur con velocidad baja prevalece en primavera y verano.

Beneficios de la energía eólica

- i. Es inagotable y limpia
- ii. No contamina
- iii. Reduce el uso de combustibles fósiles
- iv. Genera riqueza y empleo local.
- v. Contribuye al desarrollo sostenible.

1.2.2 Redes Inteligentes

Las redes inteligentes son la evolución de las redes eléctricas tradicionales, éstas se encargan del monitoreo y administración de red y tienen la capacidad de predicción en el consumo energético de los usuarios. Además, este tipo de redes, disminuyen las limitaciones de funcionamiento, obtenidas por las redes eléctricas comunes, tales como apagones, sobrecargas, caída del sistema entre otros problemas que se pueden suscitar. Estas nuevas redes eléctricas hacen énfasis en la integración de las tecnologías electrónicas digitales en la adquisición y transmisión de datos bidireccional entre la generación y clientes, con el propósito de brindar una mejoría en la confiabilidad y disponibilidad de la red eléctrica [22].

También se pueden definir a las redes inteligentes como un grupo de sistemas de energía integrados con el fin de mejorar la estructura de la red eléctrica tradicional, monitoreando el comportamiento de los dispositivos que se encuentren conectados a la red con el objetivo de optimizar recursos en tiempo real y otorgar la seguridad de un sistema sostenible y eficaz [23].

Las redes inteligentes [24] se definen como un grupo de sistemas de energía que integran fuentes de energía renovables con el fin de lograr metas medioambientales, esto a través de plantas generadoras de energía, permitiendo al usuario consumir y remitir energía.

En un futuro no lejano se espera que las redes inteligentes logren modernizar a las redes eléctricas tradicionales, en la Tabla I obtendremos una comparación entre una red tradicional y una SG.

Tabla 1. Características de redes de electricidad [25].

| Red tradicional | Redes inteligentes |
|-----------------------------------|---------------------------------|
| Electromecánica | Digital |
| Comunicaciones unidireccionales | Comunicaciones bidireccionales |
| Generación centralizada | Generación distribuida |
| Escasos sensores | Sensores a lo largo de las SG |
| Monitoreo Manual | Auto monitoreo |
| Su restauración es de tipo manual | Auto restauración |
| Fallas y apagones | Adaptable y en isla |
| Control limitado | Control generalizado |
| Pocas opciones de los clientes | Muchas opciones de los clientes |

Las redes tradicionales, son aquellas basadas en IP. Su mayor problema es su difícil administración, ya que, están integradas verticalmente.

La Red Inteligente basa su "inteligencia" en la adición de nodos de proceso, programables por software, asociados a los nodos de conmutación existentes; su arquitectura es modular y consta de una serie de bloques que se ocupan de la conmutación, proceso, gestión y despliegue del servicio.

1.2.2.1 Arquitectura de las redes inteligentes.

La representación de la arquitectura jerárquica de una SG está compuesta de diferentes capas como se observa en la Figura 1. El sistema de energía, sistema de control, comunicación, información, seguridad y aplicaciones. La capa de componentes es la encargada de monitorear, controlar, generar, transmitir y distribuir la energía en resumen es la encargada de que el sistema energético funcione adecuadamente. Las aplicaciones como la medición son las que están del lado del usuario, la capa de comunicación es la encargada de la notificación datos de medición, supervisión y las señales de gestión que intervienen en el sistema de alimentación, en la capa de componentes. La capa de información y seguridad se encarga de la protección de los datos y señales asegurando la privacidad, integridad, autenticación y disponibilidad de estos [26].

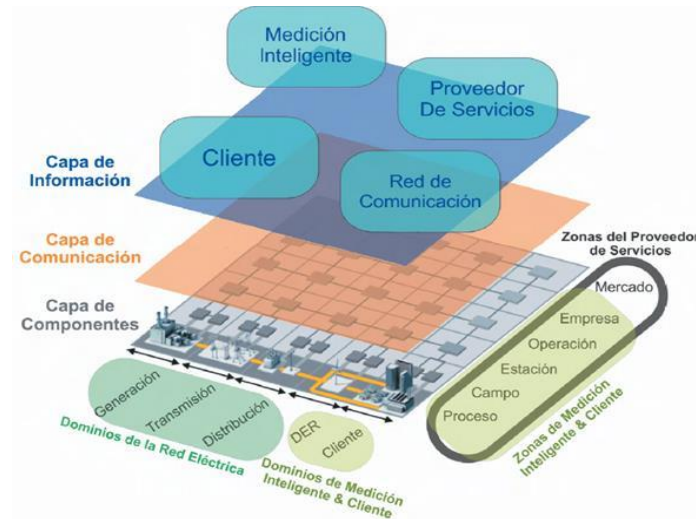


Figura 1. Arquitectura de red inteligente.

Tecnologías y componentes de apoyo para redes inteligentes

Los componentes de una SG se encargan de funciones específicas y su uso depende de las características de hardware que estas contengan. Desde la parte física las SG están distribuidas en varios componentes, nuevos componentes de red, detección y control, infraestructura de comunicaciones, seguridad, automatización y respaldo de TI. Sin embargo, los componentes de red son de generación distribuida como unidades de calor y energía de ciclo combinado de residencia (CCHP), microturbinas, célula fotoeléctrica, turbinas eólicas, y unidades de almacenamiento de energía para la adquisición y transmisión de datos bidireccional entre la generación y clientes.

Automatización y respaldo de TI

Las SG emplean tecnologías de información para mejorar la perspectiva y funcionalidad de las redes eléctricas habituales con el propósito de obtener información de lo que está ocurriendo en la red, monitoreando desde donde se genera energía hasta los usuarios, con la finalidad de aumentar la eficiencia y confiabilidad del sistema [27]. Entre las tecnologías que intervienen en las Smart Grid Se tienen: el control, la detección y medición, seguridad en SG y la interoperabilidad.

Control

En las áreas de control se utilizan métodos y técnicas de conexión para avalar una red energética limpia, las redes inteligentes al poder ser monitoreadas frecuentemente hacen posible el manejo óptimo de los servicios de control de generación automática en redes de usuarios inteligentes, incorporando los vehículos electrónicos y los recursos distribuidos, el esquema de control de carga dinámica, la turbina de viento, generador de energía eólica y efectos de comunicación en el control de frecuencia [28], [27].

Detección y medición

Las SG para su funcionamiento hace uso de componentes importantes como los sensores que sirven como estaciones o centros de detección y medición permitiendo el monitoreo de equipos y diferentes fuentes de energía. Dependiendo del tipo de sensor, su salida eléctrica puede ser un voltaje, corriente, resistencia u otro atributo eléctrico que varía con el tiempo. Algunos sensores están disponibles con salidas digitales, por lo que generan una serie de bytes de datos escalados o no escalados. La salida de estos sensores analógicos generalmente está conectada a la entrada de un acondicionador de señal, que discutiremos en la siguiente sección.

Seguridad

El cambio de información de las redes inteligentes con otros actores de la red dentro de un mismo dominio o de otros dominios hace que el uso de la seguridad cibernética se transforme en un aspecto importante para la confiabilidad del sistema, en especial cuando existen interconexiones externas como el Internet [27]. Para que exista una seguridad apropiada en las SG se deben cumplir varios objetivos. En la Tabla III se muestran los objetivos de seguridad de las SG con una breve descripción.

Interoperabilidad

Una definición acertada de la interoperabilidad es la capacidad de dos o más redes, dispositivos y sistemas, aplicaciones, componentes para la transmisión de información de manera segura y eficiente. Las SG son un sistema interoperable debido a su importante capacidad de traspaso de información.

1.2.3 Aplicaciones de las redes inteligentes

Según [29] existen una gran cantidad de aplicaciones de las SG, en la universidad Ankara, Turquía implementaron una red inteligente de tamaño micro que cuenta con almacenamiento de energía solar, eólica, baterías y esta micro red esta alimentada por diésel.

Existen estudios para la construcción de un edificio inteligente en el CCI de Petten, Países Bajos que contara con paneles solares. Generadores de diésel, batería, sistemas de almacenamiento, monitoreo remoto, comunicaciones inteligentes, sistemas de medición y de ahorro de energía [30].

En Estados Unidos se han realizado estudios para la incorporación de red distribución eléctrica cumpliendo con todos los objetivos de una SG de calidad en a energía, continuidad del suministro y satisfacción al cliente. En China existe un proyecto para la creación de una plataforma de estacionamiento para vehículos eléctricos similar a una microrred es una agrupación localizada de generación distribuida (solar), almacenamiento de energía (baterías de vehículos eléctricos) y carga (carga de carga de vehículos eléctricos) [31].

1.2.3.1 Protocolos para redes inteligentes

Existen diferentes protocolos de comunicación para redes inteligentes, en la tabla II se describen varios cuyo uso es común, los mismos que son usados alrededor del territorio europeo.

Tabla 2. *Protocolos de seguridad para redes inteligentes.*

| Protocolos para redes inteligentes | | | | |
|--|-------------------------|---------------|-------------------|-----------------|
| Nivel físico | | Nivel en lace | | Nivel seguridad |
| PRIME (Powerline Intelligent Evolution) | (Powerline Metering) | Tecnología | Estructura | Capa MAC |
| | | PLC | red árbol | AES128 |
| Meters and More | | Modelo | Perfil PLC | Cifrado AES |
| | | OSI | Perfil IP | |
| | | | Perfil IE62056-21 | |

| | Perfil DLMS/COSEM | | |
|--------|---------------------------|------------------------|---------|
| G3-PLC | MAC OFDM 6LOWPAN | FCC CENCLEC ARIB | AES-128 |
| OSGP | ETSI TS 103908. 104001 | ISO /IEC 14908-2 | ETSI TS |

1.2.3.2 Redes inteligentes con el uso de Internet de las Cosas (IoT)

Las redes inteligentes son el camino para la implementación de Micro Grid (MG) que incorporan energías renovables, pudiendo controlar el consumo energético y así mejorar el rendimiento de los sistemas de red a través del Internet de las cosas. Las implementaciones de las IoT ofrecen a la micro red llevar a cabo un registro de datos en la nube y brindar control remoto de la red [32].

El internet de las cosas brinda servicios nuevos y avanzados a la interconexión de los objetos tanto virtuales como físicos, implicando energías interoperables de comunicación e información, la evolución del IoT suministra servicios inteligentes, fiables y seguros, por lo que esta tecnología es la base para la comunicación en dos direcciones entre los actores que componen la red [33].

El uso de dispositivos conectados a internet es cada vez más común en el diario vivir, estos tienen la necesidad de cumplir con varias características para su correcto funcionamiento:

- Direccionamiento e identificación.
- Comunicación con bajo consumo de energía.
- Protocolos para enrutamiento eficientes y bajos requerimientos de memoria.
- Alta velocidad y comunicación sin pérdida.
- Movilidad.

Existen diferentes tipos de protocolos de comunicación para dispositivos IoT:

IEEE 802.15.1 (Bluetooth): Está basado en radio frecuencia, es una tecnología diseñada para comunicación de corto alcance, funciona a 2,4 GHz, existen dos tipos Bluetooth Classic y Bluetooth Low Energy [41],[42]

NFC (Near Field Communication): Es un protocolo de comunicación inalámbrico de corto alcance, trabaja bajo variación de campo magnético para la transferencia de información, opera en banda de 13,56 MHz, su comunicación es de tipo bidireccional[34].

IEEE 802.11 (Wi-Fi): Opera en las bandas 2,4 GHz, 5 GHz y 60 GHz, es de los protocolos más usados para la comunicación IoT, permite la transferencia de grandes cantidades de datos de manera rápida [35].

Z-Wave: Es una tecnología de comunicación inalámbrica basada en radio frecuencia, permite transmisiones seguras, soporta redes de tipo malla, opera en la banda de 868 MHz, se utiliza mucho en la domótica [36]

ZigBee: Permite crear redes de baja potencia y la construcción de redes de nodos malla, opera en la banda de 2,4 GHz y en la de 915 MHz, esta red puede estar compuesta por miles de nodos, la información pasa de un nodo a otro a través de toda la red [37].

HTTP: Es un protocolo de comunicación del nivel de aplicación, permite transferencia de información en la web. Está basado en el paradigma cliente-servidor, en donde el usuario envía peticiones al servidor el mismo que sirve las peticiones a los clientes [38],[37].

1.2.4 Sistemas de micro red inteligente

Con los problemas graves que presenta la energía fósil y la contaminación medioambiental, la sobreexplotación de los recursos renovables se ha convertido en una urgencia, es por esto que el desarrollo de las SG junto con la generación de nuevas energías y energías renovables de generación distribuida y recursos energéticos distribuidos se ha convertido en una área de investigación importante [39].

Las Micro redes inteligentes (MSG) incorporan fuentes de energía distribuidas modulares, tales como combustible, eólicas y celdas solares, con equipos de acumulación y cargas de control para construir un sistema de distribución de poco voltaje como se aprecia en la Figura 2, en cuanto a las MSG se pueden conceptualizar como una red

autónoma de pequeño rango además inducida por fuentes de generación, con la característica de apartarse de una red externa. Las MSG se conectan a redes de alimentación principal o pueden trabajar de forma autónoma [40].

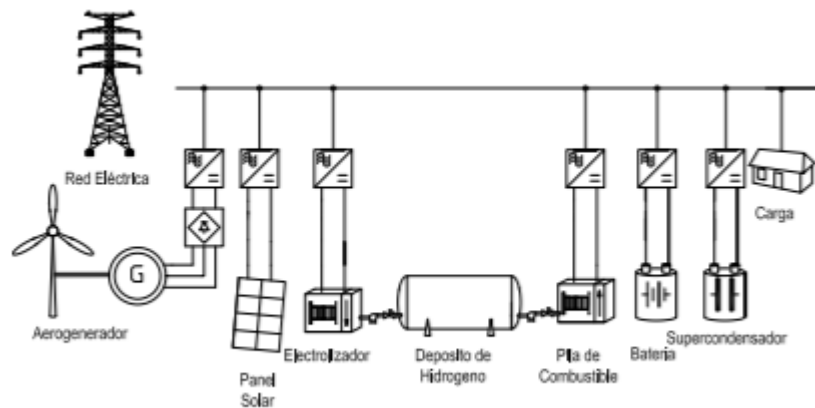


Figura 2. Estructura de una micro red inteligente [41].

1.2.4.1 Ventajas de las Microred Inteligente

Las micro redes por sus características brindan una serie de ventajas:

- Gestionar la creciente demanda sin sobrecargar las existentes infraestructuras eléctrica o capacidad de expansión.
- Disminuye la frecuencia y la duración de la interrupción de la red a través del sistema de gestión de recursos energéticos distribuidos y funcionalidad de auto curación.
- Garantizar la seguridad energética a través de la auto sostenibilidad.
- Abordar el cambio climático utilizando energía limpia recursos.
- Suministrar energía eléctrica a las áreas donde se encuentran las empresas locales.

Las micro redes son un grupo de cargas, generadores y sistemas que se encargan del almacenamiento de energía, separados o acoplados al resto de la red eléctrica, estos son gestionados para suministrar electricidad de forma fiable. El almacenamiento de energía brinda la oportunidad de elegir el funcionamiento de la micro red si trabaja en modo isla o con conexión a la red externa [41].

1.2.4.2 Micro redes inteligentes con fuentes de energía renovable

Hoy en día existe una gran afluencia de investigación en el campo de las tecnologías que intervienen en las MSG con sistemas de aparcamiento de energía de la batería [42]. en este caso el uso de paneles solares como se observa en la Figura 3.

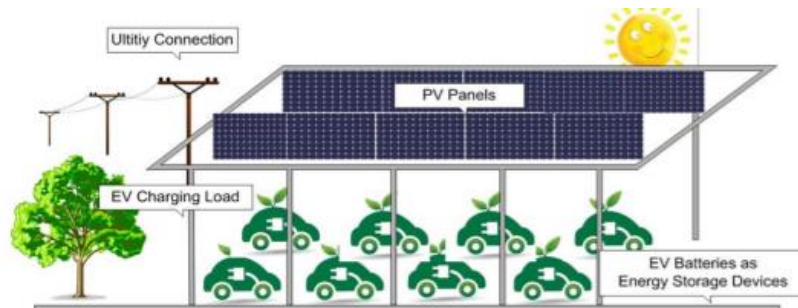


Figura 3. Plataforma de estacionamiento de vehículos eléctricos

1.2.5 Comunicación en redes inteligentes

La infraestructura de comunicación es de gran importancia para el desarrollo de las Smart Grid, la información de éstas se transmite utilizando el doble sentido de comunicación (alámbrica, inalámbrica, GSM e internet). La comunicación bidireccional permite el constante monitoreo de la red, ofreciendo a los consumidores un servicio ininterrumpido y sin fallas, para así ganar confianza a través de la devolución de energía de calidad a los clientes.

1.2.5.1 Redes de comunicación para Redes inteligentes

Una red de comunicación es un conjunto de dispositivos de informática que se encuentran vinculados inalámbricamente o alámbricamente entre sí con la finalidad de compartir información.

1.2.5.2 Tipos de redes de comunicación

En la comunicación de las SG intervienen varios tipos de redes las mismas que se encargan del intercambio de información de un sistema a otro. Las redes inteligentes se

componen de tres subredes las cuales cuentan con nivel de cobertura y velocidad como se observa en Figura 4.

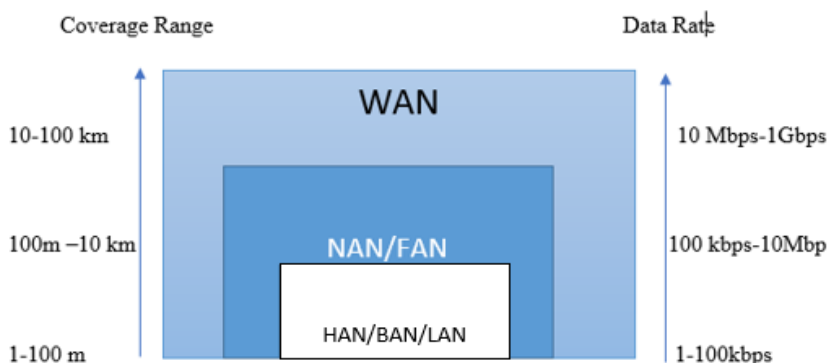


Figura 4. Subredes de comunicación de redes inteligentes.

Red de área local (LAN)

Redes de área local son redes que vinculan uno o varios dispositivos informáticos dentro de un área pequeña, estos pueden ser conectadas por medio de cables Ethernet o de forma inalámbrica lo que se denomina WLAN (Wireless Local Área Network) [43], [44]. Las redes LAN conectan computadoras en un círculo pequeño, este puede ser un hogar o una organización. Estas redes pueden conectarse entre ellas a través de ondas de radio, satélites, líneas de teléfono, fibra óptica entre otros medios de transmisión que existen. Los computadores que normalmente se utilizan están conectados a una red LAN, la misma que posibilita a los usuarios la transmisión de información de manera bidireccional [45].

Red de área doméstica (HAN)

Es una red de área doméstica, perteneciente a un tipo de red LAN encargada de la comunicación y la interoperabilidad de los dispositivos informáticos que se encuentran en las inmediaciones de una casa, en donde los dispositivos conectados a esta red son monitoreados por un contador inteligente que se encarga de estar midiendo el consumo de energía eléctrica y brindando al usuario información en tiempo real.

Red de vecindario (NAN)

Es una red de vecindario, de comunicación para áreas energéticas de distribución que actúan como enlace entre cliente y las subestaciones a través de colectores, puntos de accesos y concentradores de datos [33].

Red de área extendida (WAN)

Es una red de área extendida, ofrece la comunicación entre la red eléctrica y las subestaciones, esta debe abarcar las instalaciones de generación y almacenamiento de energía distribuida, los activos de distribución, como las baterías de condensadores, los transformadores y los reconectores, para que sea lo suficiente eficaz y escalable. La comunicación entre empresa de servicios públicos y los medidores inteligentes es esencial para el intercambio de información pertinente como señales de precios o información sobre tarifas con el cliente [46].

En la tabla 3 se describen varias características de las diferentes de red de comunicación en cuanto a expansión, sentido, propiedad de la red, diseño y mantenimiento, velocidad, tolerancia a fallos y rango de propagación.

Tabla 3. Tabla comparativa de redes de comunicación

| Bases de comparación | de LAN | MAN | WAN |
|-------------------------------|---|--|--|
| Se expande a | Red de área local | Red de área metropolitana | Red de área amplia |
| Sentido | Es una red que conecta un grupo de ordenadores en un área pequeña | Cubre una región relativamente grande como ciudades, pueblos | Abarca grandes localidades y conecta países. Ejemplo de internet |
| Propiedad de la red | privado | Privado o público | Privado o público |
| Diseño y mantenimiento | Corto | Moderado | Largo |
| Velocidad | Alta | Moderada | Baja |
| Tolerancia a fallos | Más tolerable | Menos tolerable | Menos tolerable |
| Retardo de propagación | Corto | Moderado | Largo |

1.2.5.3 Medios de transmisión para redes de comunicación

De acuerdo con las características de la red se utilizarán los medios de transmisión guiados que son los que transmiten la información por un canal físico o los no guiados que su transmisión no es de modo física. El estándar P2030 brinda orientaciones alternativas y practicas mejoradas con el fin de lograr la interoperabilidad en las SG. Este estándar provee un camino dirigido a establecer el marco en el desarrollo de un cuerpo nacional e internacional de estándares IEEE basado en disciplinas técnicas transversales en aplicaciones de energía e intercambio y control de información a través de las comunicaciones [47]. El IEEE 2030 define tres perspectivas arquitectónicas integradas: tecnología de comunicaciones y la información, sistemas de energía. Además, define las tablas de diseño y la clasificación de las características del flujo de datos necesarias para la interoperabilidad. Las pautas para la interoperabilidad de la SG, los criterios de diseño y las aplicaciones del modelo de referencia se abordan con énfasis en la identificación de interfaz funcional, conexiones lógicas y flujos de datos, comunicaciones y enlaces, gestión de información digital y uso de generación de energía [48].

En la tabla 4 se describen los medios de transmisión de información de tipo guiado y no guiado con bases comparativas con respecto a la velocidad de transferencia de datos, cobertura y aplicaciones.

Tabla 4. Medios de transmisión de las SG [33],[49],[50].

| | Medio de transmisión | de Velocidad de datos | de Cobertura | Aplicaciones |
|---------------|---|--|--|---------------------|
| Guiado | Fibra Óptica | PON: 155 Mbps a 2.5 Gbps WDM: 40 Gbps SONET/SDH: 10 Gbps | Superior a 60 km Superior a 100 km Superior a 100 km | NAN, WAN |
| | DSL (del inglés, Digital Subscriber Line) | ADSL: 1 a 8 Mbps HDSL: 2 Mbps VDSL: 15 a 100 Mbps | Superior a 5 km Superior a 3.6 km Superior a 1.5 km | HAN, NAN, WAN AMI |
| | Cable Coaxial | DOCSIS: 172 Mbps | Superior a 28 km | NAN |
| | PLC | HomePlug: 14 a 200 Mbps Narrowband: 10 a 500 kbps | Superior a 200 m Superior a 3 km | HAN, NAN AMI |

| | | | | | |
|--------------------|------------------------------------|----------|---------------------------------------|---|---------------------|
| | Ethernet | | 802.3x: 10 Mbps a 10 Gbps | Superior a 100 m | HAN, NAN |
| No Guiado | Z-Wave | | 40 kbps | 30 m al interior 100 m al aire libre | HAN |
| | 6LoWPAN | | 40 kbps | Superior a 200 m | HAN |
| | Bluetooth 802.15.1 | | Máximo 1 Mbps | 10 m usualmente | HAN AMI |
| | ZigBee 802.15.4 | Estándar | 250 kbps | 10 m a 75 m punto a punto | HAN, WAN AMI |
| | AMIZigBee Pro | | 250 kbps | Superior a 1600 m | |
| | WiFi 802.11x | | 2 a 600 Mbps | Superior a 250 m | |
| | Celular 2G–GSM | | 14 kbps | 10 km | Celular 2.5G–GPRS |
| | Celular 3G – UMTS – CDMA2000 -EDGE | | Superior a 2 Mbps | Superior a 10 km | NAN, WAN, DER, AMI, |
| | Celular 3.5G | | 14 Mbps | Superior a 10 km | EV, ADA |
| | Celular 4G–LTE | | 300 Mbps y 3.3 Gbps para LTE Avanzado | Superior a 10 | |
| Internet Satelital | | 1 Mbps | 100 a 6000 km | WAN | |

1.2.6 Software de simulación de redes de Comunicación

Uno de los componentes principales para la construcción de una red de comunicación virtual es el software de simulación de red. Existen varios softwares que permiten realizar este tipo de trabajos virtualizados.

1.2.6.1 PACKET TRACER

Es una herramienta utilizada para realizar simulaciones de redes innovadoras y potentes, es utilizada para prácticas, detención y solución de problemas. Esta plataforma permite simular redes con el fin de que se experimente con el comportamiento de la red y se puedan formular y resolver preguntas hipotéticas. Se pueden crear redes con un número casi ilimitado de dispositivos por lo que resulta una herramienta interesante [51].

PACKET TRACER IoT

IoT se puede definir como la agrupación e interconexión de dispositivos y objetos a través de una red dónde todos ellos podrían ser visibles e interaccionar. Packet Tracer ofrece un apartado de internet de las cosas donde se tiene una gran variedad de dispositivos divididos en 4 subcategorías, Hogares inteligentes, Smart City, Industrial y Power Grid los que se pueden utilizar para realizar simulaciones más completas e interesantes.

1.2.6.2 NetSim

Es una aplicación que simula el hardware y software de red de Cisco Systems y está diseñada para ayudar al usuario a aprender la estructura de comandos de Cisco IOS. Con NetSim, puede aprender y dominar las habilidades necesarias para completar con éxito su certificación de Cisco [52]. Este software de simulación es similar a Packet Tracer cuando hablamos de funcionamiento, permite simular diversos dispositivos de red, es utilizado en organizaciones militares / de defensa / espaciales, empresas de distribución de servicios públicos, fabricantes de equipos de red y proveedores de servicios, es de software pago [53].

1.2.6.3 GNS3

Es un simulador de redes de comunicación, este proporciona una gran variedad de herramientas para el diseño de topologías de redes de comunicación sencillas y complejas, permite a los usuarios escoger cada uno de los elementos que pueden llegar a formar parte de una red informática real, su entorno grafico es muy similar al del simulador grafico de redes Packet Tracer [54]. GNS3 es una herramienta interesante además de ser una de las más completas junto con Packet Tracer que existen. Permite generar simulaciones en tiempo real, simular un amplio abanico de fabricantes y conectar el entorno de simulación a una red real.

1.3 Marco legal

La presente investigación se centra en la generación de tecnología que aporta al crecimiento tecnológico del país. Para simplificar lo expuesto se presenta el siguiente análisis: El Plan Nacional de Gobierno electrónico 2018-2021 en base a la Carta Iberoamericana de Gobierno electrónico (2017), formula 12 principios que precautelan el derecho de los ciudadanos a relacionarse con el Estado electrónicamente. Como el: “Principio de adecuación tecnológica: Garantiza que las administraciones elegirán las tecnologías más adecuadas para satisfacer sus necesidades, por lo que se recomienda el uso de estándares abiertos y de software libre debido a la seguridad, sostenibilidad a largo plazo y la socialización del conocimiento.” La Constitución de la República del Ecuador (2008) que garantiza la soberanía nacional y define los sectores estratégicos entre los cuales están las tecnologías como software y hardware:

“Art.322. Se reconoce la propiedad intelectual de acuerdo con las condiciones que señale la ley. Asimismo, se prohíbe toda forma de apropiación de conocimientos colectivos, en el ámbito de las ciencias, tecnologías y saberes ancestrales...”

“Art. 385. El sistema nacional de ciencia, tecnología, innovación y saberes ancestrales, en el marco del respeto al ambiente, la naturaleza, la vida, las culturas y la soberanía, tendrá como finalidad desarrollar tecnologías e innovaciones que impulsen la producción nacional, eleven la eficiencia y productividad, mejoren la calidad de vida y contribuyan a la realización del buen vivir.

CAPÍTULO II: MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Tipo de investigación

La investigación es de tipo mixta porque comprende utilizar en un mismo proyecto de investigación el uso de estrategias cuantitativas y cualitativas. Como menciona [55] este tipo de investigación envuelve una recopilación de datos cuantitativos y cualitativos que se consideren importantes para su estudio basándose en un proceso sistemático, empírico y crítico de la investigación donde interviene la visión objetiva de la investigación cuantitativa y la visión subjetiva de la investigación cualitativa pudiéndose fusionar para la obtención de los resultados de estudio [56]. Para la recolección y obtención de la información se utilizó un enfoque cualitativo exploratorio, el cual permitió recoger las suficientes bases teóricas y antecedentes de trabajos investigativos relacionados con la comunicación y las tecnologías que intervienen en las redes inteligentes.

3.2 Métodos

En la presente investigación se utilizó el método de investigación experimental donde el investigador provoca una situación a través de la inclusión de variables de estudio manipuladas por él, para el análisis del comportamiento del fenómeno causa y efecto. Con este método se pudo obtener una planificación que ayudó a responder inquietudes sobre como es el funcionamiento de la comunicación de las redes inteligentes esto a través de la simulación de una red de comunicación basada en estándares internacionales.

3.3 Fuentes de Información

En esta investigación se utilizó la técnica de recopilación documental y bibliográfica (IEEE, SCOPUS, SCIELO.) la cual permitió realizar revisiones de diferentes artículos relacionados al tema redes inteligentes y su comunicación con el fin de obtener una gran cantidad de información importante.

3.4 Materiales (herramientas y tecnologías empleadas)

Para la presente investigación se utilizaron tecnologías informáticas las cuales permitieron la simulación de la red de comunicación de Microred inteligente, además está

basada en estándares internacionales y fuentes bibliográficas como testimonios de hechos históricos comprobados.

3.4.1 Análisis de software para el diseño de red y sus componentes

Se analiza los diferentes softwares de simulación para poder elegir el que por sus características se adecuaba al trabajo investigativo. Varios artículos de los usados en esta investigación discuten los mejores programas de simulación disponibles en el mercado. Lo que ayuda a tomar la decisión de qué software utilizar para la simulación de la red de comunicación, en la tabla 5 se visualizan características de los diferentes simuladores de red analizados.

Tabla 5. Características de simuladores de red [57],[51],[58].

| | Uso investigativo | Tipo de Licencia | Curva de Aprendizaje | Plataformas que Soportan | Interfaz Gráfica de Herramienta | Graficación de Resultados | Tecnologías de Nivel 2 y Nivel 3 | Tráfico permitido |
|--------------------------|------------------------------|-----------------------------|---------------------------------|---|--|--|---|------------------------------|
| Packet Tracer | Medio | Propietario | Alto | Windows, Ubuntu | Medio | Aceptable | Medio | Medio |
| GNS3 | Bajo | Libre/ Comercial | Bajo | Linux, MAC, Windows | Alto | limitada | Bajo | Nulo |
| NetSim | Alto | Comercial | Alto | Windows. | Alto | Aceptable | Alto | Alto |

En este texto se ha hecho uso el Software Cisco Packet Tracer para la simulación de redes. Aunque existen numerosas plataformas para simular, tales como: GNS3, NetSim, etc.

Se utilizó la versión 8.0.0.0212, la misma que fue descargada de la página oficial de Cisco, <https://www.netacad.com/es>

Cisco Packet Tracer ofrece grandes ventajas en el campo académico ya que cuenta con un poderoso entorno visual para el diseño de sistemas de redes entre computadoras, interruptores, enrutadores, servidores además de soporte de IoT y Smart Grid. Además, cuenta con abundante documentación a través de tutoriales en video y aplicaciones prediseñadas para diversos escenarios. Los operadores disponibles dentro de Cisco Packet Tracer cubren una gran variedad de funciones; desde soporte para IPv6, OSPF multitarea, redistribución de rutas, RSTP, SSH e interruptores multicapa hasta soporte para protocolos, tales como: HTTP, TCP/IP, Telnet, SSH, TFTP, DHCP y DNS, TCP/UDP, IPv4, IPv6, ICMPv4, entre muchos más, tiene soporte para Windows y Linux. Propuesta

En la figura 5 se puede observar el entorno amigable y sencillo de usar que ofrece Cisco Packet Tracer. En la parte inferior se encuentran los dispositivos para formar una red, y para implementarlos, simplemente se debe seleccionar el dispositivo a arrastrar hacia la pantalla principal para su configuración. La última versión de Cisco Packet Tracer es la 8.0.0.0212 y en comparación con otras plataformas para la simulación de redes, esta versión ofrece nuevos dispositivos, tales como: Cisco 819 enrutador, Cell Tower, Sniffer, dispositivos IoT, tecnología Smart Grid, entre otros, los cuales son utilizados para el desarrollo de la práctica en este texto.

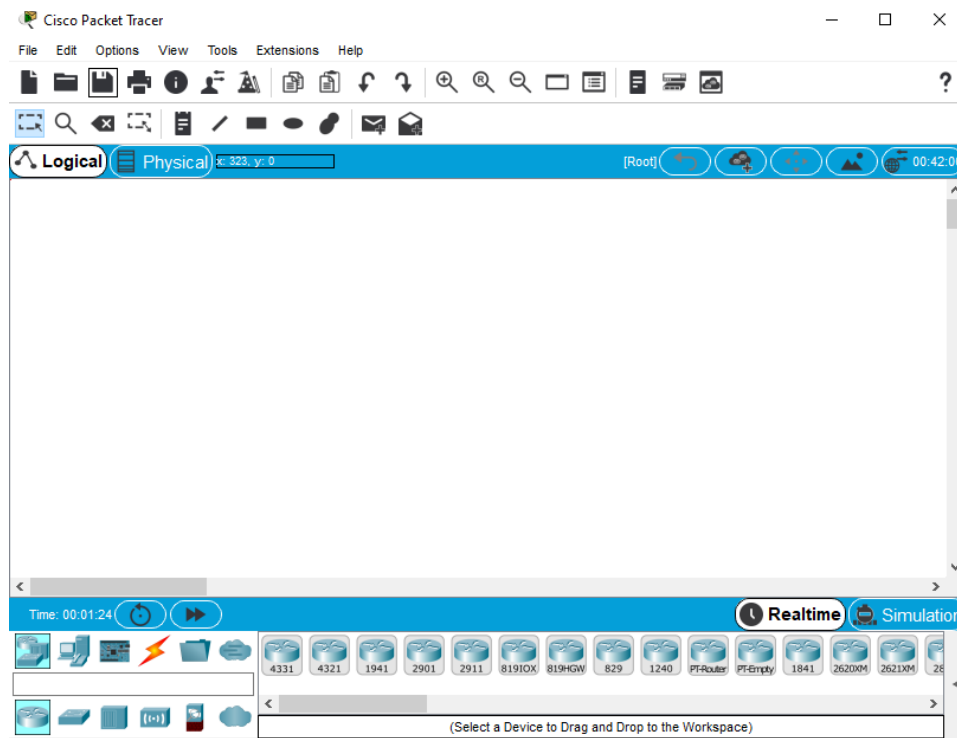


Figura 5. Entorno de Cisco Packet Tracer

A nivel de simulación se utilizaron diferentes tecnologías las cuales permitieron cumplir con los objetivos de la investigación. Entre las tecnologías usadas figuran las siguientes:

Firewall Físico cisco 5505. Es un dispositivo de seguridad, se encarga del bloqueo no autorizado de equipos informáticos. Una aula o dependencia de cualquier centro docente acondicionada para el desarrollo de clases prácticas relacionadas con la enseñanza; pongo por caso que se asegura de no producir influencias extrañas que alteren el trabajo de estudio.

Servidores DHCP, DNS, IoT. Son equipos de hardware con sistemas operativos instalados y diferentes servidores a nivel de software, son los encargados de recibir peticiones y dar respuestas a estas.

Un dispositivo puede funcionar como un cliente DHCP y obtener dinámicamente los parámetros de red, incluida la dirección IP de un servidor DHCP. Este mecanismo reduce los costos manuales, reduce los errores y facilita la administración unificada.

Los servidores DNS son grandes centros de bases de datos en donde se encuentran las direcciones o nombres de dominio de miles de millones de sitios web y se encuentran en

diferentes partes del mundo. Estos servidores cuentan con la capacidad de relacionar o traducir la dirección IP con el nombre de dominio con la cual los usuarios reconocen un sitio Web.

Los servidores IoT, uno de los ejemplos más curiosos es el botón inteligente. Amazon fue la primera empresa que puso el botón “Smart” en una lavadora, de manera que cuando se agota el detergente puedes comprarlo directamente (pulsando el botón).

Enrutadores Cisco. Permiten realizar conexiones a lo largo de una red informática enviando paquetes que siguen diferentes rutas con un destino. Al realizar la instalación ya sea en casa o en la empresa te permite: Modificar contraseña por defecto: esto garantiza mayor seguridad porque evita que alguna persona pueda conectarse sin permiso. Limitar el acceso a ciertos equipos: a través de la configuración de la MAC se puede hacer un filtrado de direcciones, evitando que usuarios no reconocidos se conecten a la red. Configurar la red WIFI: es importante que renombres la red WIFI para que te sea más fácil distinguirla del resto. En general, vemos varias redes disponibles y lo mejor es ponerle un nombre que te sea fácil de identificar.

Protocolo de información de enrutamiento (RIP). Es un protocolo de enrutamiento para enrutadores cuenta con gran compatibilidad para las diferentes marcas existentes en el mercado. En una empresa con redes públicas (sistema autónomo 3333) han optado por utilizar enrutamiento dinámico RIP, el esquema de redes es el siguiente: La empresa es un sistema autónomo con enrutamiento dinámico y se conecta con el resto de la internet por un enrutador de borde (enrutador C), que intercambiará rutas con otros enrutadores de borde por el protocolo BGP.

Dispositivos IoT. Son cargas (dispositivos, artefactos, equipos) con conexión a la red de internet por la cual pueden ser monitoreados y controlados. Medidor inteligente, un foco, una ventana, una puerta, etc.

CAPÍTULO III: ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS

3.1 Análisis del diseño de red del modelo propuesto

El objetivo del presente trabajo es el desarrollo de la propuesta de un modelo de red que representa una pequeña parte de la ciudadela Bonaterra (6 viviendas) ubicada al sur de la ciudad de esmeraldas.

En la figura 6 se puede observar el plano de interconexión del modelo propuesto donde se detalla los componentes de red utilizados para formar una red WAN.

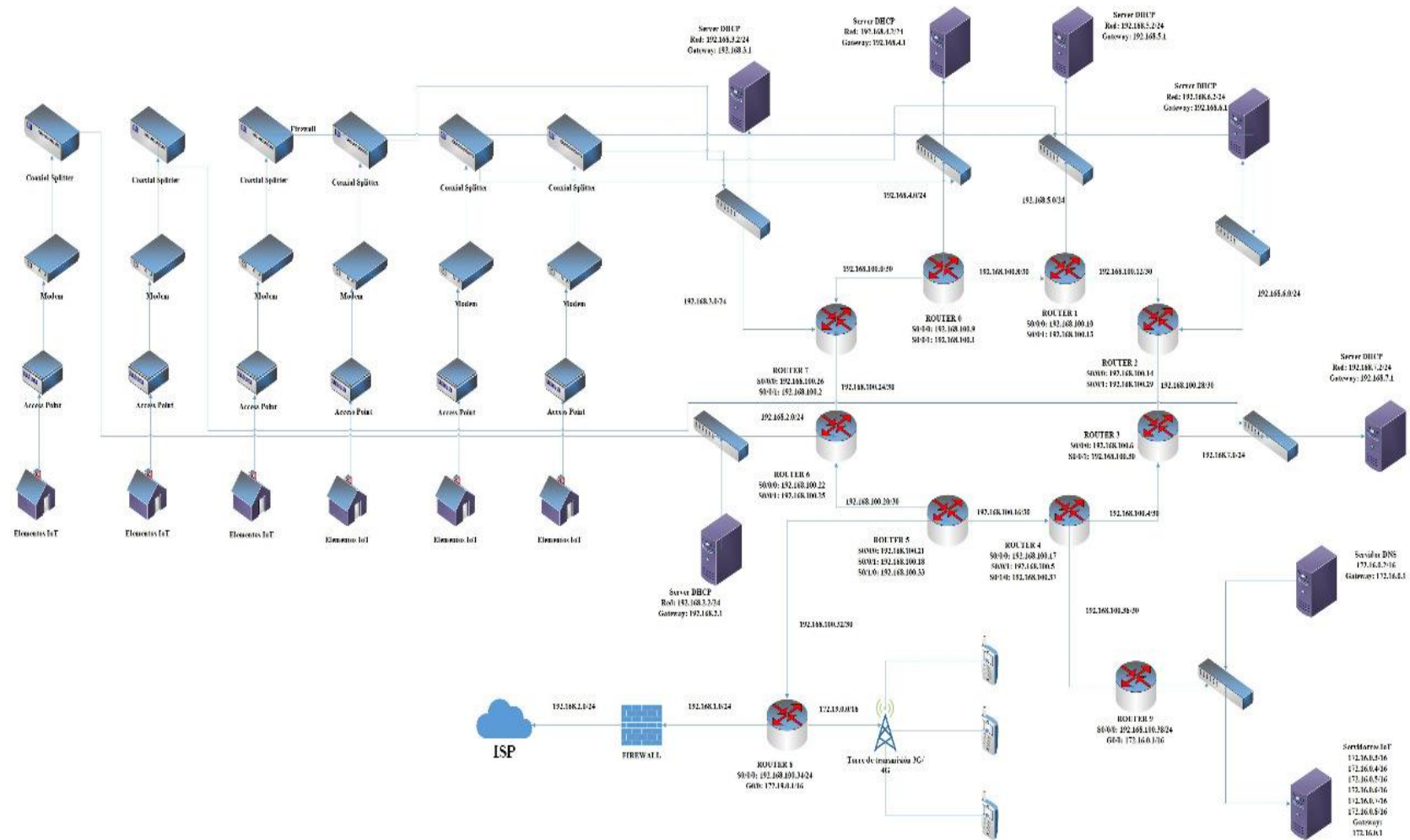


Figura 6. Plano Interconexión del modelo propuesto

Conectamos todos los equipos, asignamos las direcciones IP que se muestra en la tabla 6 a los diferentes equipos que intervienen en la red.

Tabla 6. *Tabla de direccionamiento IP.*

| Dispositivo | Interfaz o Puerto | Dirección IP o Red | Máscara de subred |
|--------------------|--------------------------|---------------------------|--------------------------|
| ROUTER 0 | S0/0/0 | 192.168.100.9 | 255.255.255.252 |
| | S0/0/1 | 192.168.100.1 | 255.255.255.252 |
| | S0/1/0 | 192.168.100.17 | 255.255.255.252 |
| ROUTER 1 | S0/0/0 | 192.168.100.10 | 255.255.255.252 |
| | S0/0/1 | 192.168.100.13 | 255.255.255.252 |
| | S0/1/0 | 192.168.100.25 | 255.255.255.252 |
| ROUTER 2 | S0/0/0 | 192.168.100.14 | 255.255.255.252 |
| | S0/0/1 | 192.168.100.33 | 255.255.255.252 |
| | S0/1/0 | 192.168.100.37 | 255.255.255.252 |
| ROUTER 3 | S0/0/0 | 192.168.100.6 | 255.255.255.252 |
| | S0/0/1 | 192.168.100.34 | 255.255.255.252 |
| | S0/1/0 | 192.168.100.29 | 255.255.255.252 |
| ROUTER 4 | S0/0/0 | 192.168.100.50 | 255.255.255.252 |
| | S0/0/1 | 192.168.100.5 | 255.255.255.252 |
| | S0/1/0 | 192.168.100.21 | 255.255.255.252 |
| ROUTER 5 | S0/0/0 | 192.168.100.46 | 255.255.255.252 |
| | S0/0/1 | 192.168.100.61 | 255.255.255.252 |
| | S0/1/1 | 192.168.100.49 | 255.255.255.252 |

| | | | |
|------------------|--------|----------------|-----------------|
| ROUTER 6 | S0/0/0 | 192.168.100.45 | 255.255.255.252 |
| | S0/1/0 | 192.168.100.42 | 255.255.255.252 |
| | S0/1/1 | 192.168.100.57 | 255.255.255.252 |
| ROUTER 7 | S0/0/0 | 192.168.100.53 | 255.255.255.252 |
| | S0/1/0 | 192.168.100.2 | 255.255.255.252 |
| | S0/1/1 | 192.168.100.41 | 255.255.255.252 |
| ROUTER 8 | S0/0/0 | 192.168.100.54 | 255.255.255.252 |
| | G0/0 | 192.168.13.1 | 255.255.255.0 |
| | G0/1 | 192.168.4.1 | 255.255.255.0 |
| ROUTER 9 | S0/0/0 | 192.168.100.58 | 255.255.255.252 |
| | G0/0 | 192.168.14.1 | 255.255.255.0 |
| | G0/1 | 192.168.5.1 | 255.255.255.0 |
| ROUTER 10 | S0/0/0 | 192.168.100.62 | 255.255.255.252 |
| | G0/0 | 192.168.15.1 | 255.255.255.0 |
| | G0/1 | 192.168.6.1 | 255.255.255.0 |
| ROUTER 11 | S0/0/0 | 192.168.100.22 | 255.255.255.252 |
| | G0/0 | 172.16.0.1 | 255.255.0.0 |
| ROUTER 12 | S0/0/0 | 192.168.100.30 | 255.255.255.252 |
| | G0/0 | 172.19.0.1 | 255.255.0.0 |
| | G0/1 | 192.168.1.1 | 255.255.255.0 |
| | S0/0/0 | 192.168.100.18 | 255.255.255.252 |

| | | | |
|------------------|--------|----------------|-----------------|
| ROUTER 13 | G0/0 | 192.168.10.1 | 255.255.255.0 |
| | G0/1 | 192.168.1.1 | 255.255.255.0 |
| ROUTER 14 | S0/0/0 | 192.168.100.26 | 255.255.255.252 |
| | G0/0 | 192.168.11.1 | 255.255.255.0 |
| | G0/1 | 192.168.2.1 | 255.255.255.0 |
| ROUTER 15 | S0/0/0 | 192.168.100.38 | 255.255.255.252 |
| | G0/0 | 192.168.12.1 | 255.255.255.0 |
| | G0/1 | 192.168.3.1 | 255.255.255.0 |

Esta red WAN está conformada por 6 redes LANs, cada red LAN conforma una casa o vivienda como se observa en la figura 7.

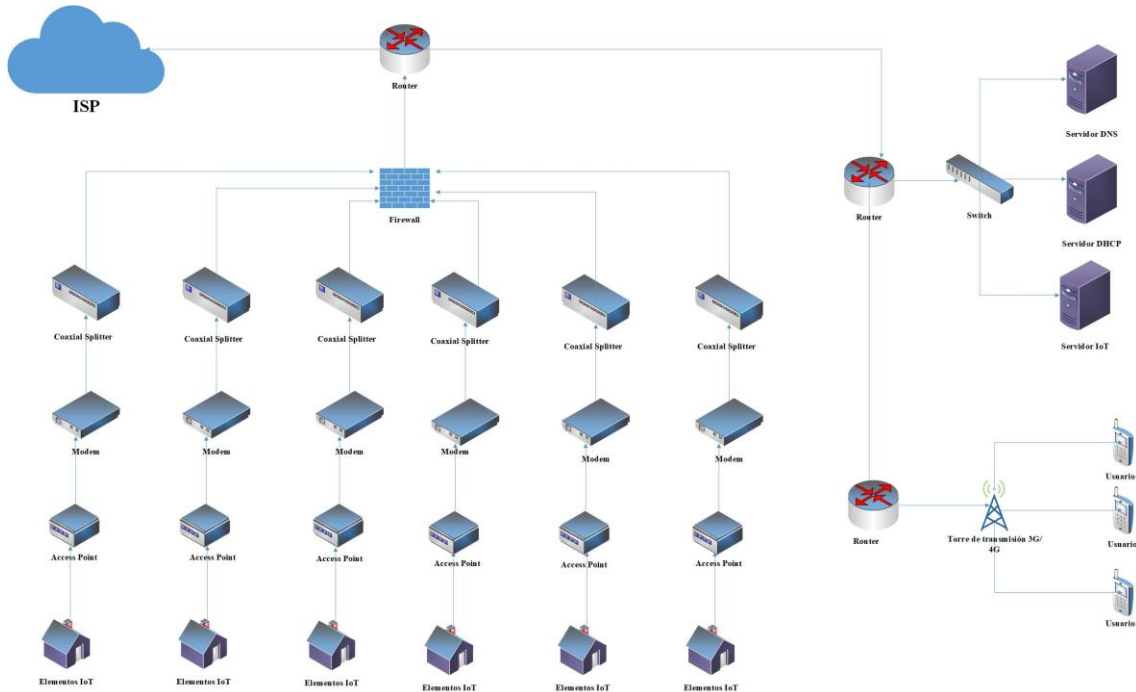


Figura 7. Diseño de red de la modelo propuesta.

Se realizó el diseño de una red WAN, la cual representa una pequeña parte de la ciudadela Bonaterra (6 viviendas) ubicada al sur de la ciudad de esmeraldas. Cabe indicar que

existen diferentes modelos de casas, para este trabajo investigativo fue elegido el modelo “Noelia”, el mismo que cuenta con 2 pisos que están repartidos de la siguiente manera el primero encontramos: Sala, comedor, cocina y un baño, en el segundo tenemos 3 dormitorios y un baño como se observa en la Figura 8.

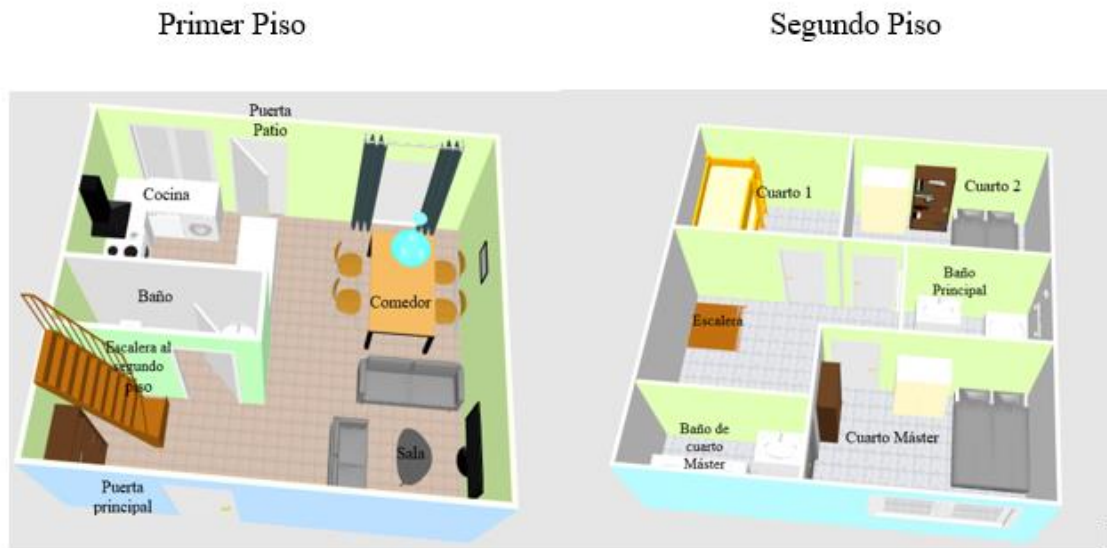


Figura 8. Casa modelo “Noelia”.

Cada vivienda está conformada por un Coaxial Splitter, Modem y un Access Point jerárquicamente como se observa en la figura 9.



Figura 9. Dispositivos de red utilizados en la vivienda

Cada Access Point cuenta con su respectivo SSID y una clave WPA2-PSK. Los dispositivos IoT se conectan al Access Point vía Wi-Fi.

Todas las casas o viviendas tienen salida a Internet, sin embargo, antes de salir a Internet, todos los dispositivos pasan a través de un Firewall 5505, tanto de entrada como de salida, para proteger la información de cada usuario.

Del lado del ISP, quien es el que proporciona el servicio de internet a las viviendas, se encuentra conformado por 3 servidores.

Servidor DHCP

Su función es asignar direcciones IPs en un determinado rango a través del servicio DHCP.

Configuración:

Los servidores DHCP se encuentran confirmados por dos redes, una es la red DHCP y la otra es la red remota o doméstica.

La red doméstica o red remota es aquella que obtiene servicio a través de un proveedor de servicio a través de un cable coaxial y se encuentra representada por una nube (Cloud 13) mientras que la red DHCP es aquella que se encarga de las configuraciones de reenvío del protocolo DHCP y se encuentra representada por el servidor DHCP (Server DHCP 13).

Dentro de los servidores DHCP se agregó direcciones IP estáticas, y además se agregó el servicio de DHCP. Dentro del servicio DHCP, primero se agregó el propio servidor DHCP y segundo se creó la red que dará el servicio, tal y como se muestra en la figura 10. Cabe recalcar que, al momento de crear la red que dará el servicio DHCP, se estableció la conexión con el servidor DNS, a través de la dirección IP (172.16.0.2).

Por último, se configuró el proveedor de servicio (Cloud 13) para establecer la conexión desde el router hacia la red remota o domestica a través de cable, tal y como se muestra en la figura 12.

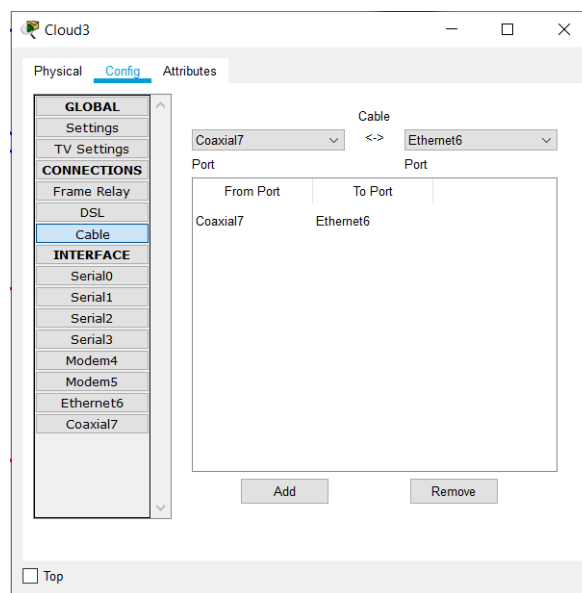


Figura 12. Configuración de la nube o proveedor de servicio.

Esta misma configuración se aplicó para cada una de las redes domésticas, sumando un total de 6 redes domésticas y por ende un total de 6 servidores DHCP, cada uno configurado con una IP diferente.

Servidor DNS: Su función es proveer respuestas a las consultas en un servicio de directorio.

Configuración:

La función principal del servidor DNS es traducir todos los dominios que se configuraron en la red doméstica. Dentro del servidor DNS se configuró su dirección IP la cual es la misma IP que se agregó en los servidores DHCP (172.16.0.2). Luego se activó el servicio DNS dentro del servidor y se agregaron los dominios con sus respectivas direcciones IPs tal y como se muestra en la figura 13.

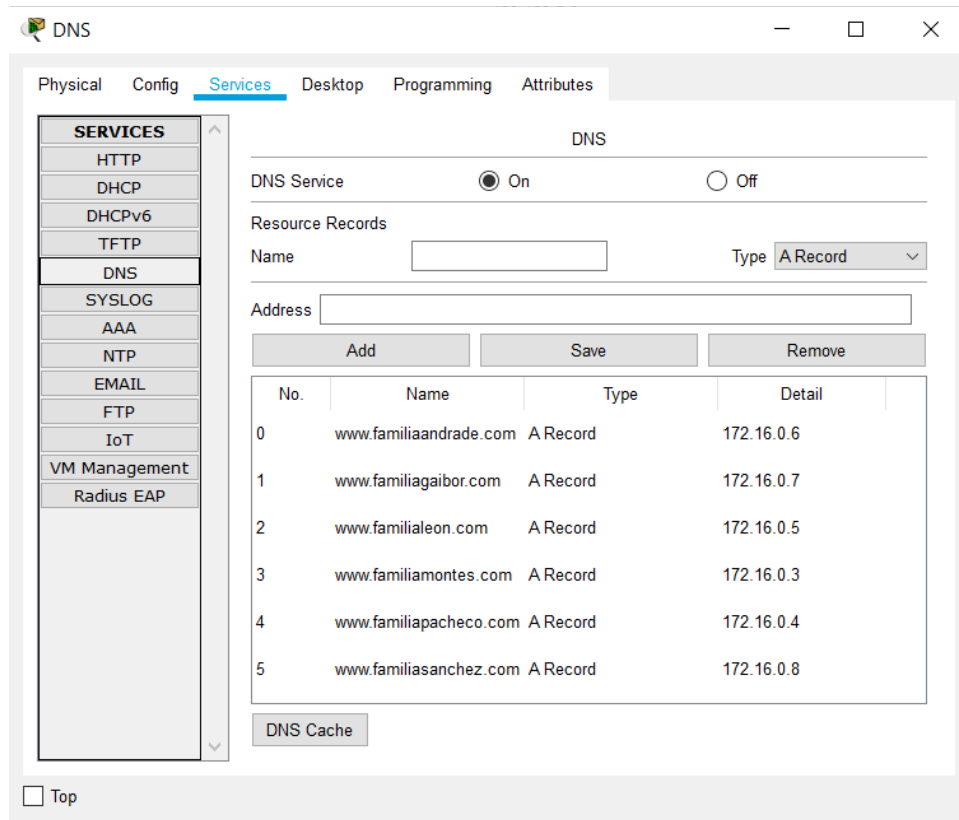


Figura 13. Dominios dentro del servidor DNS.

Servidor IoT: Su función es proporcionar un medio por el cual se puedan controlar todos los dispositivos IoT conectados a la red.

Dentro de los servidores IoT se configuró la dirección IP de cada servidor IoT, la cual es la misma IP que se estableció para cada dominio en el servidor DNS. Además, se estableció la conexión con el servidor DNS a través del DNS Server haciendo uso de la dirección IP del mismo servidor DNS.

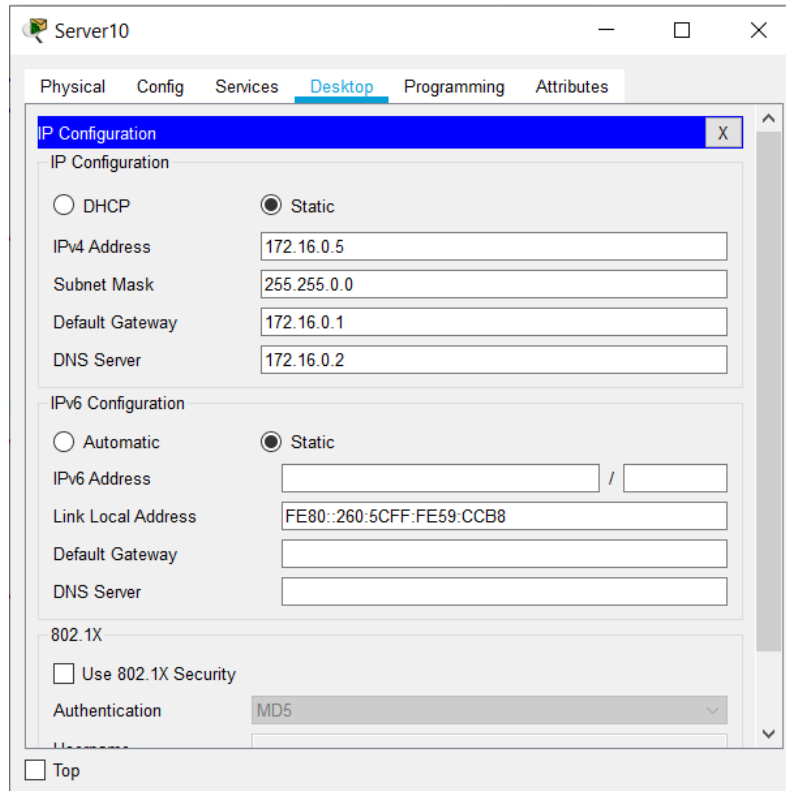


Figura 14. Configuración IP de los servidores IoT

Finalmente, se activó el servicio IoT, y se creó un usuario con su contraseña dentro de IoT monitor para monitorear todos los aparatos IoT dentro de la red doméstica figura 15.

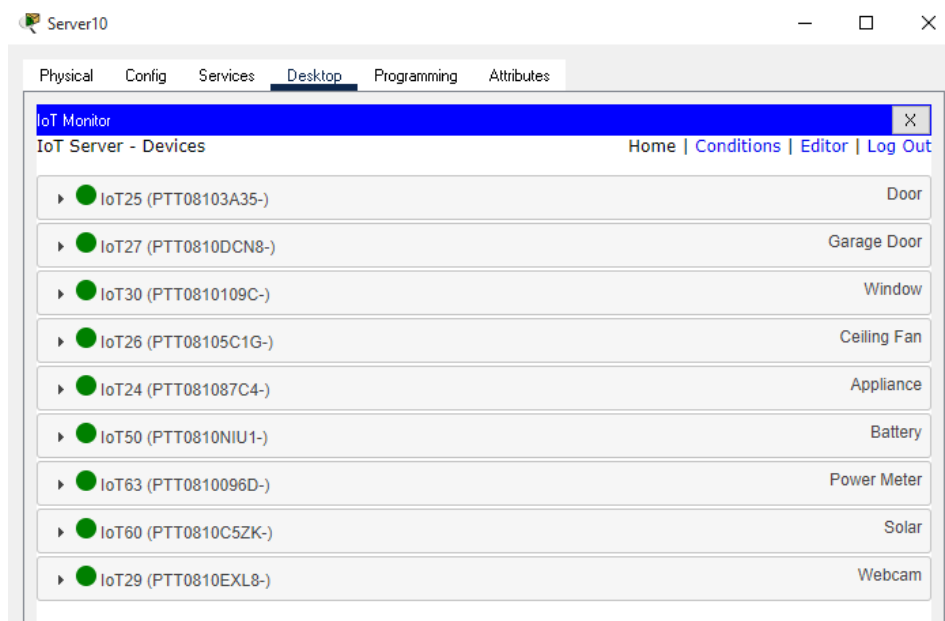


Figura 15. Interfaz de IoT monitor.

3.2 Enrutamiento RIP, análisis de su implementación dentro de la red del modelo propuesto

Se utilizó el protocolo de enrutamiento RIP, versión 2 para interconectar los diferentes enrutadores y así poder tener una comunicación en toda la red. Se hace el uso de la versión 2 del protocolo RIP, debido a que la versión 1 se encuentra obsoleta, la versión 2 soporta subredes. Básicamente se utilizó el protocolo RIP para intercambiar información acerca de las redes IP a la que se encuentra conectado cada enrutador, a través de la mejor ruta.

Los motivos por el cual se utilizó el protocolo RIP dentro del modelo propuesto son los siguientes:

Sencilla configuración

Implementación de un algoritmo de encaminamiento más simple que otros protocolos.

Algoritmo soportado por la mayoría de los fabricantes.

En la figura 16, se muestra la red de interconexión de internet, con una topología de red de tipo Anillo, la cual se encuentra configurada con el protocolo de enrutamiento RIP versión 2, por medio del cual, los enrutadores pueden conocer las diferentes redes a las que quieren llegar, en este caso las redes LAN de las viviendas.

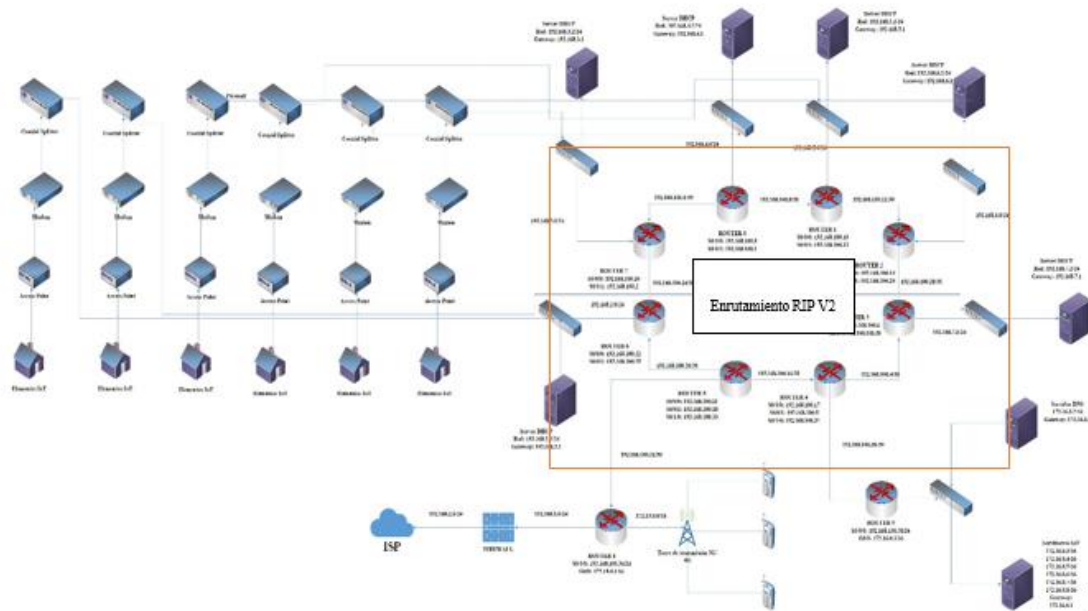


Figura 16. Enrutamiento RIP versión 2.

En la figura 17, se puede observar en el panel de simulación de resultados de Cisco Packet Tracer el cumplimiento del protocolo RIP versión 2 y el correcto funcionamiento de la simulación del modelo de red.

| Vis. | Time(sec) | Last Device | At Device | Type |
|------|-----------|-------------|------------------|-------|
| | 1.490 | Router2 | Cloud2 | RIPv2 |
| | 1.490 | Router2 | Router7 | RIPv2 |
| | 1.490 | -- | Router2 | RIPv2 |
| | 1.491 | Router2 | Switch4 | RIPv2 |
| | 1.491 | Router2 | Cloud2 | RIPv2 |
| | 1.491 | Switch4 | Server5 | RIPv2 |
| | 1.491 | Cloud2 | Coaxial Splitter | RIPv2 |
| | 1.492 | Switch4 | Server5 | RIPv2 |
| | 1.492 | Cloud2 | Coaxial Splitter | RIPv2 |

Figura 17. Simulación de transferencia de información con protocolo RIPv2.

3.3 Análisis de los dispositivos IoT conectados a la red

El internet de las cosas (IoT) son todos los elementos cotidianos conectados al internet. Se realizó la interconexión de los elementos cotidianos dentro de una casa o vivienda, como puertas, ventanas, aire acondicionado, ventiladores, lámparas, entre otros al

internet. Todos los elementos mencionados anteriormente se conectaron al Access Point de su respectiva casa. Para esto, se colocaron sus respectivos SSID y contraseña. Una vez conectados al punto de acceso este les asignaba una dirección IP con su respectiva máscara a través de DHCP.

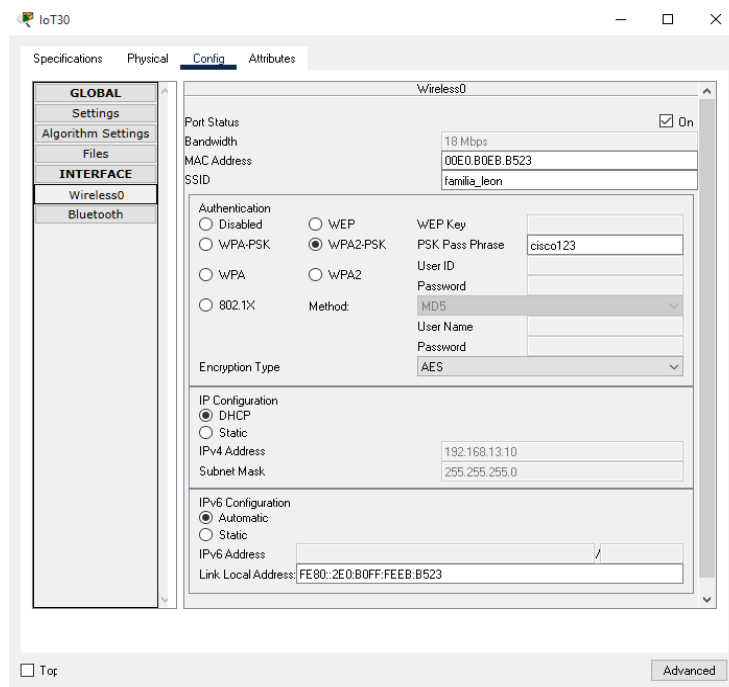


Figura 18. Conexión de los elementos IoT al Access Point.

Después de conectar los elementos IoT al Access Point, se prosiguió a conectar a los mismos al servidor IoT correspondiente a cada uno, permitiendo así poder controlarlos a través de un celular, Tablet o pc inteligente. Esto debido a la implementación de una torre de transmisión que es la encargada de operar en las frecuencias 3G y 4G para los teléfonos inteligentes, los mismos que permiten controlar los dispositivos IoT a través de la web.

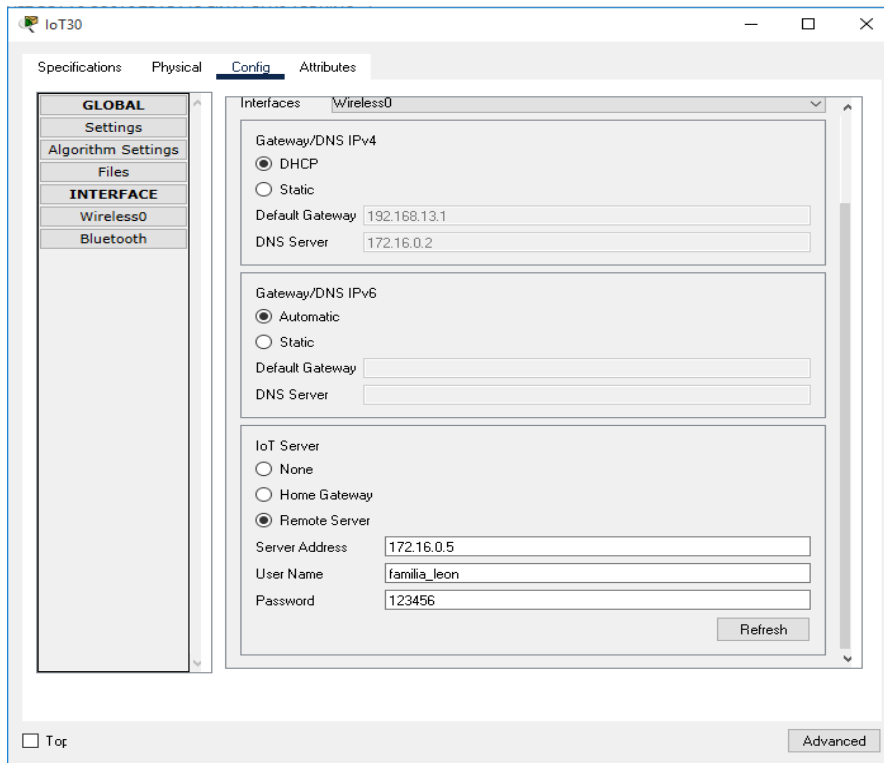


Figura 19. Conexión de los elementos IoT a un servidor remoto IoT.

A través de un teléfono inteligente, se accedió al servidor DNS correspondiente de la vivienda por medio del navegador Web del teléfono, y con las credenciales establecidas en el servidor IoT como se visualiza en la figura 20.

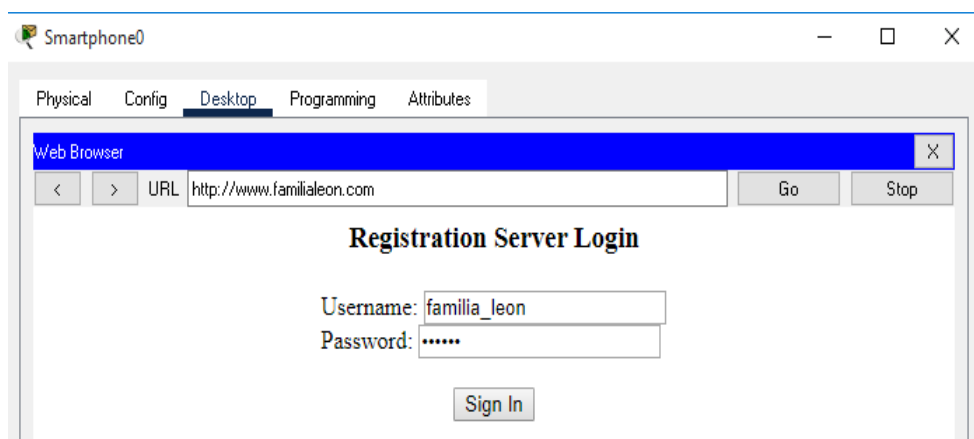


Figura 20. Acceso con credenciales establecidas en servidor IoT.

Una vez iniciada la sesión se puede observar todos los dispositivos IoT conectados a la red LAN de la vivienda como se observa en la figura 21.

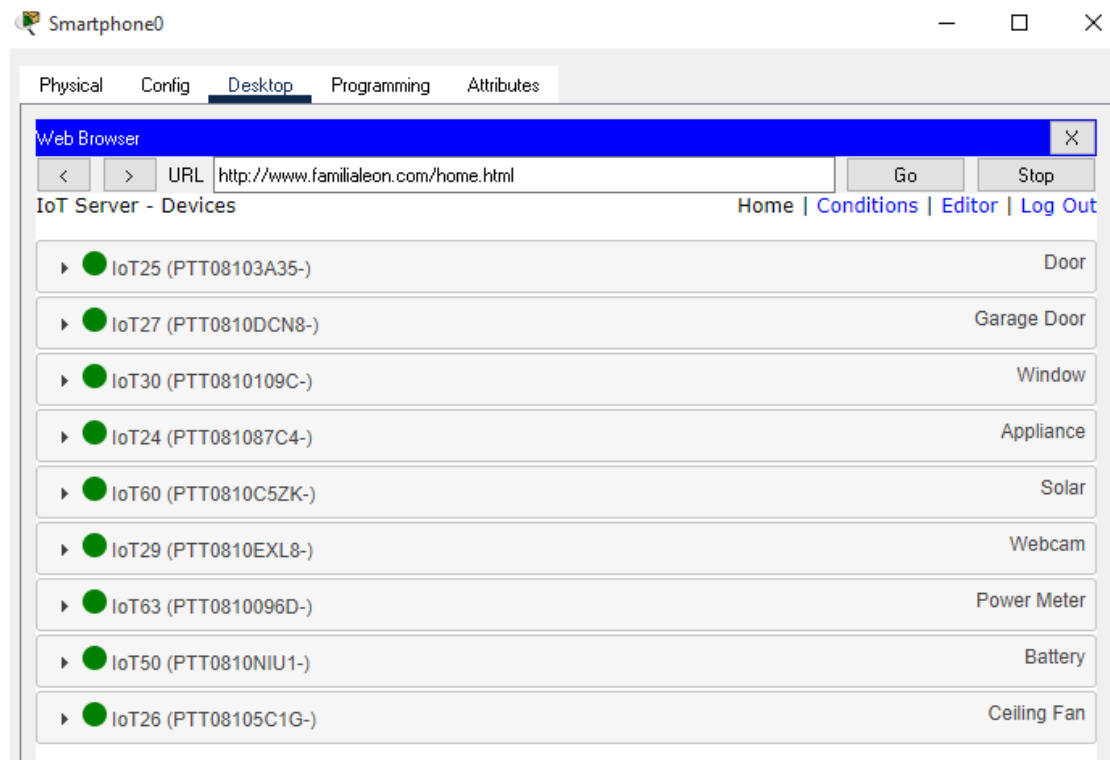


Figura 21. Dispositivos IoT conectados a la red de la vivienda.

Pulsando un Clic en cada uno de los dispositivos IoT conectado a la red LAN que se aprecian en la figura 13, dependiendo del dispositivo, se puede prender o apagar (cafetera), abrir o cerrar (ventana) o simplemente monitorear como es el caso de una cámara, todo desde el teléfono inteligente como se observa en la figura 22.

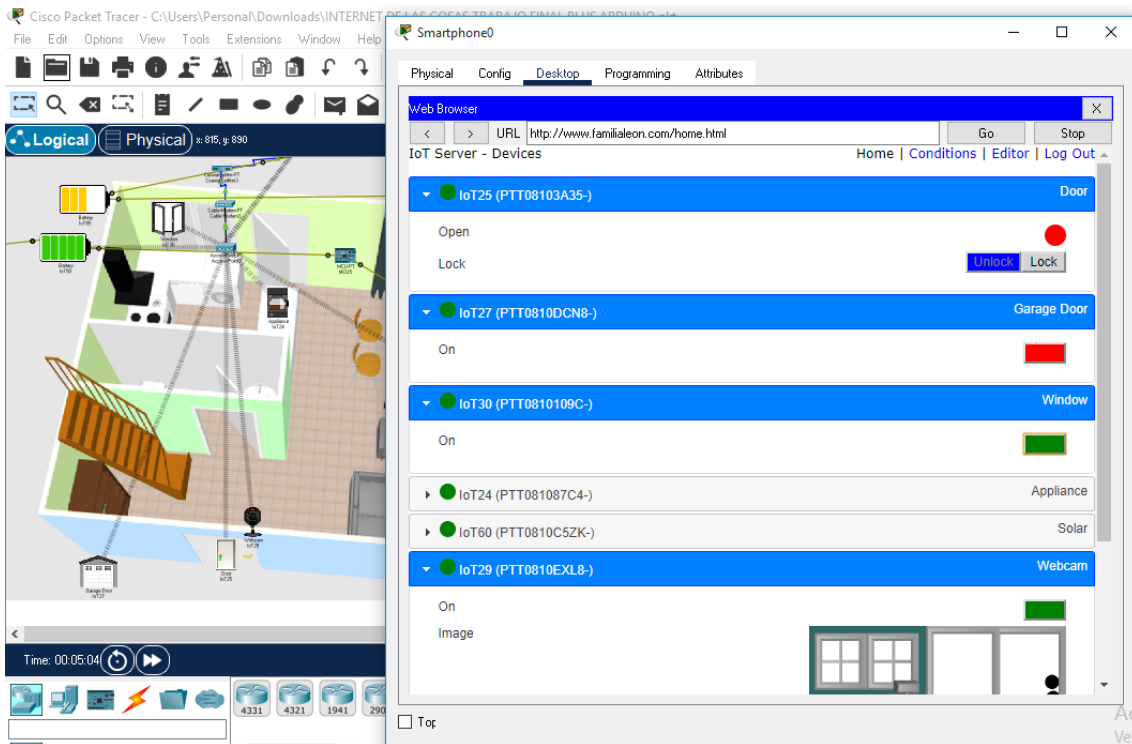


Figura 22. Manipulación y monitoreo de los dispositivos IoT dentro de una vivienda.

En la figura 17 se visualiza en el panel de simulación del software de cisco Packet Tracer el cumplimiento del protocolo TCP, la correcta comunicación y envío de paquetes de los dispositivos conectados a la red.

Al realizar la simulación del modelo de red se debe tener muy en cuenta que todos los elementos de la red deben estar configurados en la misma red, caso contrario no se podrían enviar ninguna información. Las gráficas del panel de simulación permitieron observar que los paquetes se trasladaron sin ningún problema por la red cumpliendo con los protocolos establecidos. Figura 17 y 23

| Vis. | Time(sec) | Last Device | At Device | Type |
|------|-----------|-------------|-----------|---------|
| | 0.011 | Router7 | Router1 | IoT TCP |
| | 0.011 | Router1 | Router0 | IoT TCP |
| | 0.011 | Router6 | Cloud1 | IoT TCP |
| | 0.011 | Router5 | Cloud0 | IoT TCP |
| | 0.012 | Router4 | Router3 | IoT TCP |
| | 0.012 | Router3 | Router7 | IoT TCP |
| | 0.012 | Router12 | Router10 | IoT TCP |
| | 0.012 | Router1 | Router6 | IoT TCP |
| | 0.012 | Router0 | Router5 | IoT TCP |

Simulation Panel

Event List

Reset Simulation Constant Delay

Captured to: 0.012 s

Figura 23. Simulación de transferencia de información con protocolo IoT-TCP

3.3.1 Energías renovables y IoT

La tecnología IoT ofrece la posibilidad de integrar diferentes fuentes de energía renovables y sistemas de almacenamiento. Esto hace posible una gestión descentralizada, inteligente y distribuida de la red, que se apoye en energía generada localmente y que reaccione a la demanda.

En este trabajo investigativo se efectuaron las pruebas al sistema propuesto con dos formas de energía renovables: energía solar y energía eólica. Se utilizó un total de 6 paneles solares y 3 turbinas eólicas o auto generador dentro del modelo propuesto.

El programa Packet Tracer de cisco cuenta con una ventana llamada entorno, la cual contiene todas las especificaciones del entorno que rodea al proyecto a realizar dentro del programa. Figura 24

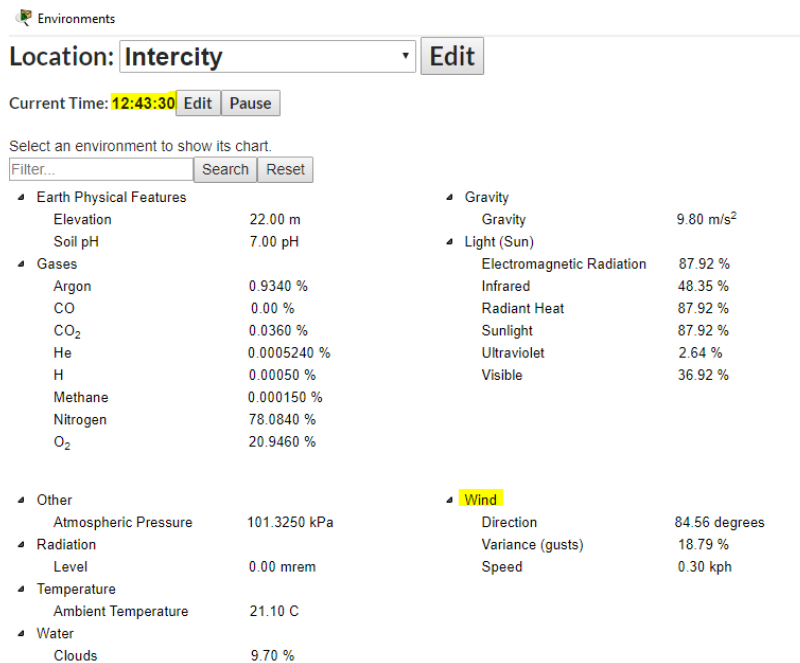


Figura 24. Pantalla de entorno de pruebas de Packet Tracer

Dentro de esta ventana entorno, se realizó la modificación a la opción de tiempo actual. Se prosiguió a colocar la hora 12:00 de la tarde, Tiempo en el que los paneles solares captan una mayor cantidad de la energía emitida por el sol como se muestra en la figura 25, de cómo sube la intensidad del sol en un rango de tiempo de 06:00 AM a 06:00 PM. Así mismo, se simuló un viento con una velocidad de 0.30 kph el cual era receptado por las turbinas eólicas.

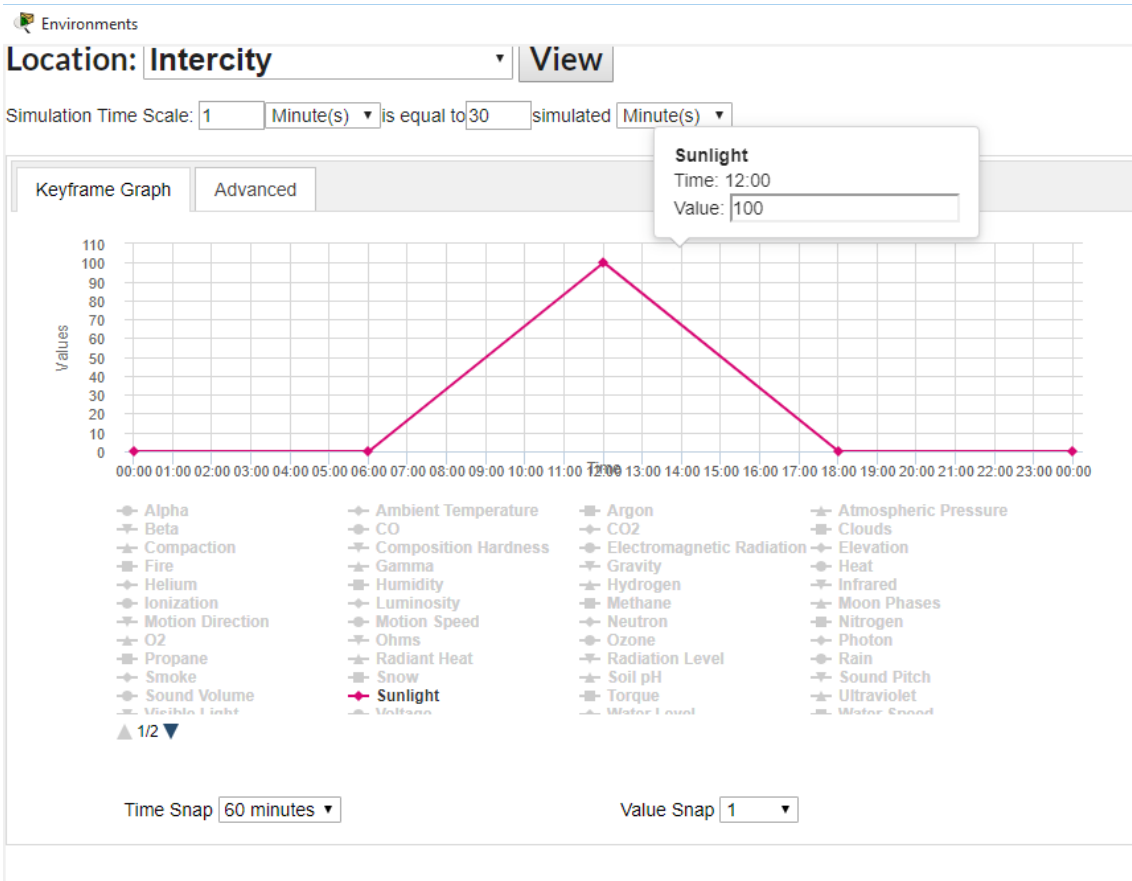
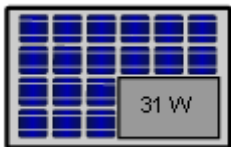




Figura 25. Mayor cantidad de la energía emitida por el sol en un rango de tiempo.

Dentro de Packet Tracer se planteó el uso de los dispositivos de red eléctrica: Paneles solares y Turbinas eólicas con el propósito de simular la comunicación y alimentar de energía a los diferentes dispositivos del Internet de las cosas, tales como: contador inteligente, batería (como sistema de almacenamiento), puerta eléctrica, ventana eléctrica, ventiladores, computadoras, entre más.

Tabla 7.. Dispositivos utilizados para simular alimentación la red eléctrica del modelo propuesto

| Energía Solar | Energía Eólica | Medidor de potencia |
|--|---|--|
|  <p>Solar Panel</p> |  <p>Wind Turbine</p> |  <p>Power Meter</p> |

Se utilizó tanto la energía solar como la energía eólica para simular la alimentación de la red eléctrica dentro del modelo propuesto. Cabe resaltar que adicionalmente se utilizó un contador inteligente de potencia para leer la cantidad de energía que proporcionaban ambos medios de energía renovable. El funcionamiento básico de una instalación solar fotovoltaica de conexión a la red, consiste en la producción de energía eléctrica por medio de un campo solar, módulos fotovoltaicos, y mediante un inversor ondulador, que transforma la corriente continua de los paneles solares en corriente alterna, a 230/400 v y 50 Hz o 60Hz de idénticas características que las que dispone la red eléctrica., y por último se dispondrá de un equipo de medida, contador, para poder medir la energía producida, este contador siempre será independiente del contador de entrada a la vivienda y se podrá monitorear su estado y el de la batería utilizada como almacén de energía esto se lo puede observar en la figura 26.

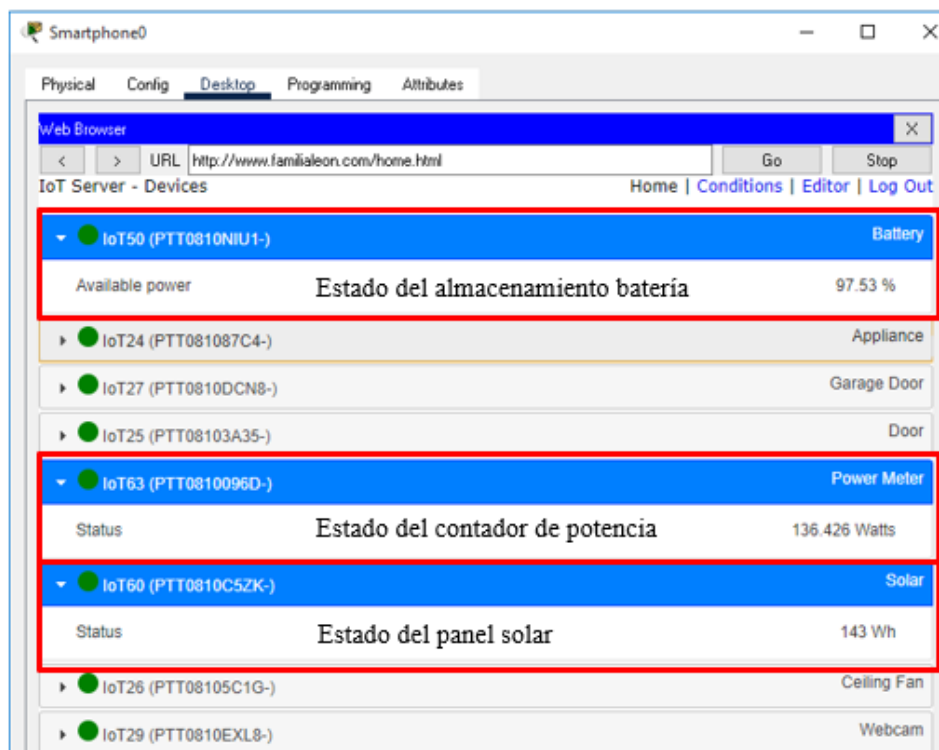


Figura 26. Visualización de estado de batería, paneles solares y contador inteligente en tiempo real.

Para la simulación de la energía eólica

El viento es más fuerte durante las horas del sol que durante la noche. El máximo es entre las 14 y las 15 horas UTC (tiempo universal), es decir entre las 2 y las 3 de la tarde en invierno y entre las 3 y las 4 en verano. El viento más flojo se encuentra después del amanecer y después del atardecer como se observa en la gráfica proporcionada por el entorno de pruebas de Cisco Packet Tracer, la figura 27.

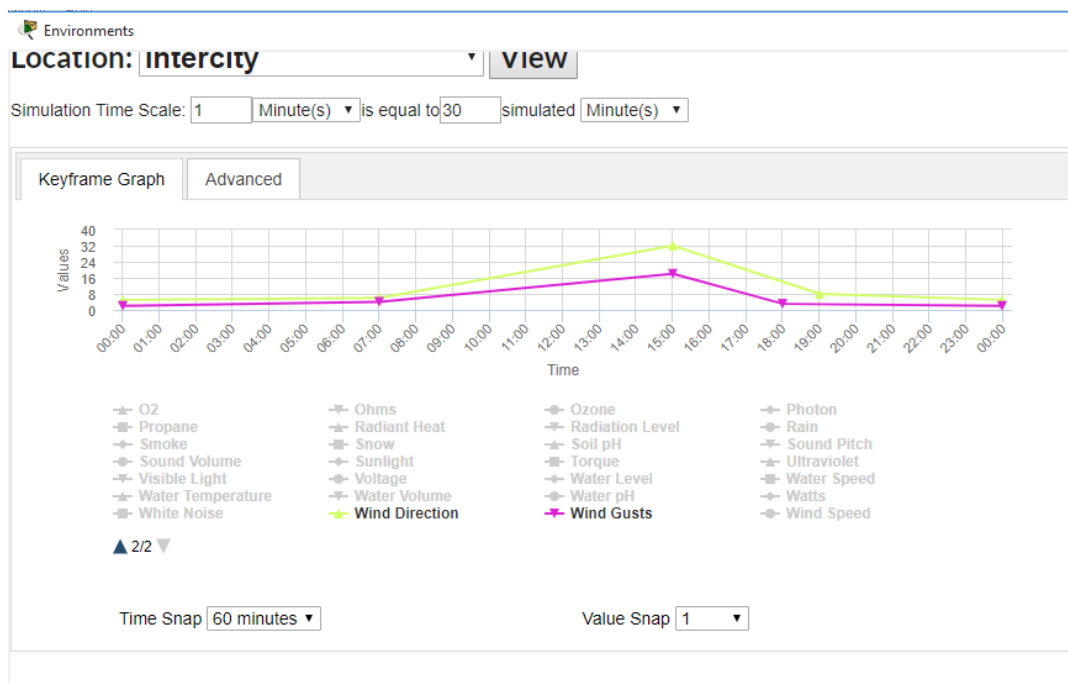


Figura 27. Comportamiento de las ráfagas de viento y dirección del viento.

La energía eólica se obtiene al convertir el movimiento de las palas de un aerogenerador en energía eléctrica. Un aerogenerador es un generador eléctrico movido por una turbina accionada por el viento, sus predecesores son los molinos de viento.

Dentro de la ventana entorno, se realizó la modificación a la opción de tiempo actual. Se prosiguió a colocar la hora 03:00 de la tarde figura 28, Tiempo en el que las torres o aerogeneradores captan una mayor cantidad de la energía emitida por el viento como se describió anteriormente.

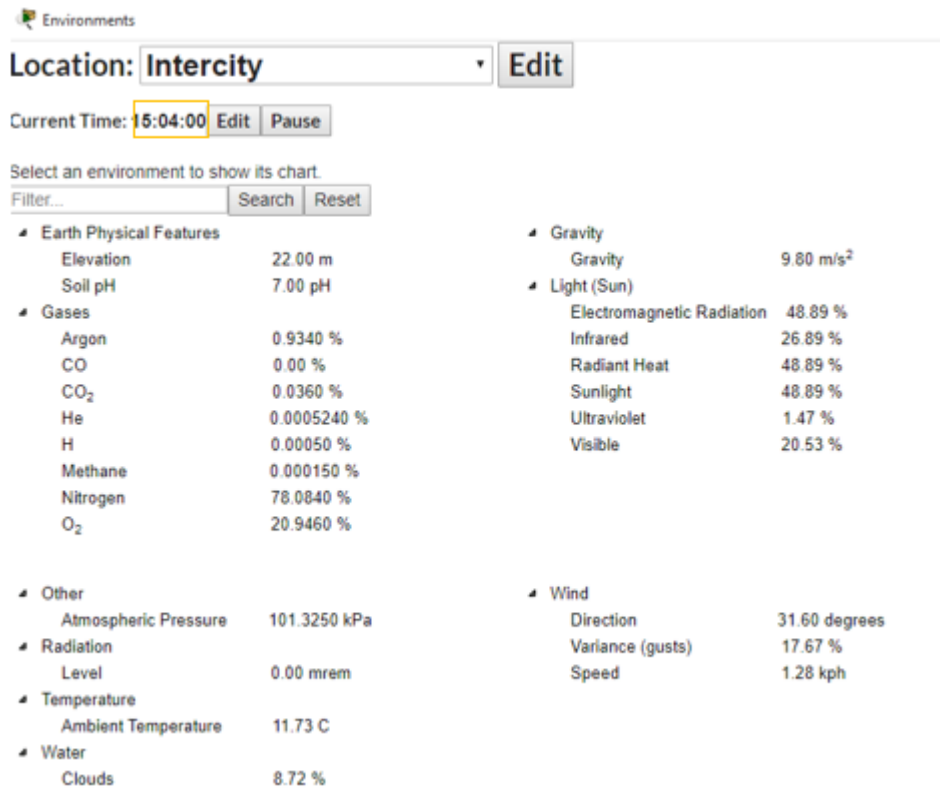


Figura 28. Pantalla de entorno de pruebas de Packet Tracer

En la figura 29 se puede observar las turbinas eólicas y el equipo de medida, contador, para poder medir la energía producida a casusa del viento, este contador sirve para monitorear el estado de la energía producida por los aerogeneradores.

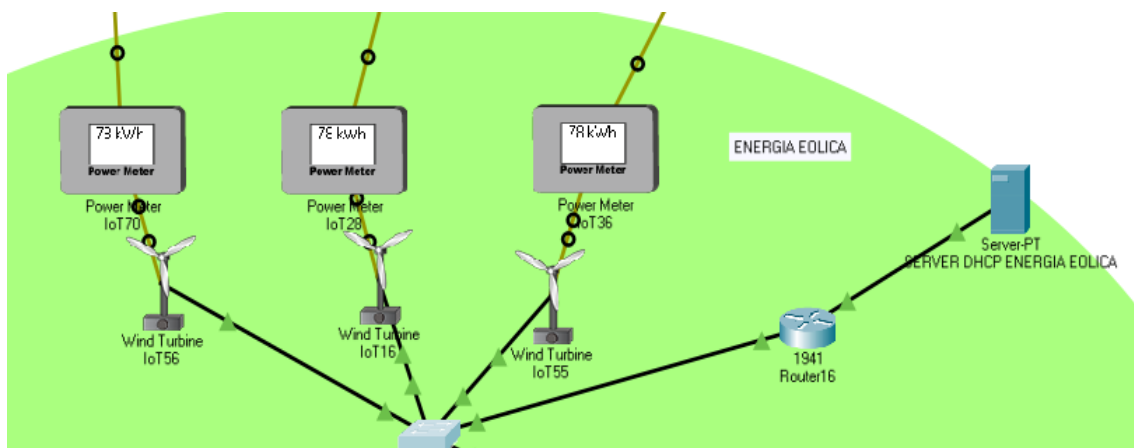


Figura 29. Aerogeneradores y contadores inteligentes de potencia.

En la figura 30, se puede observar la energía que está generando las turbinas a través del contador inteligente de potencia, también el nivel de la batería utilizada como almacén de energía eólica.

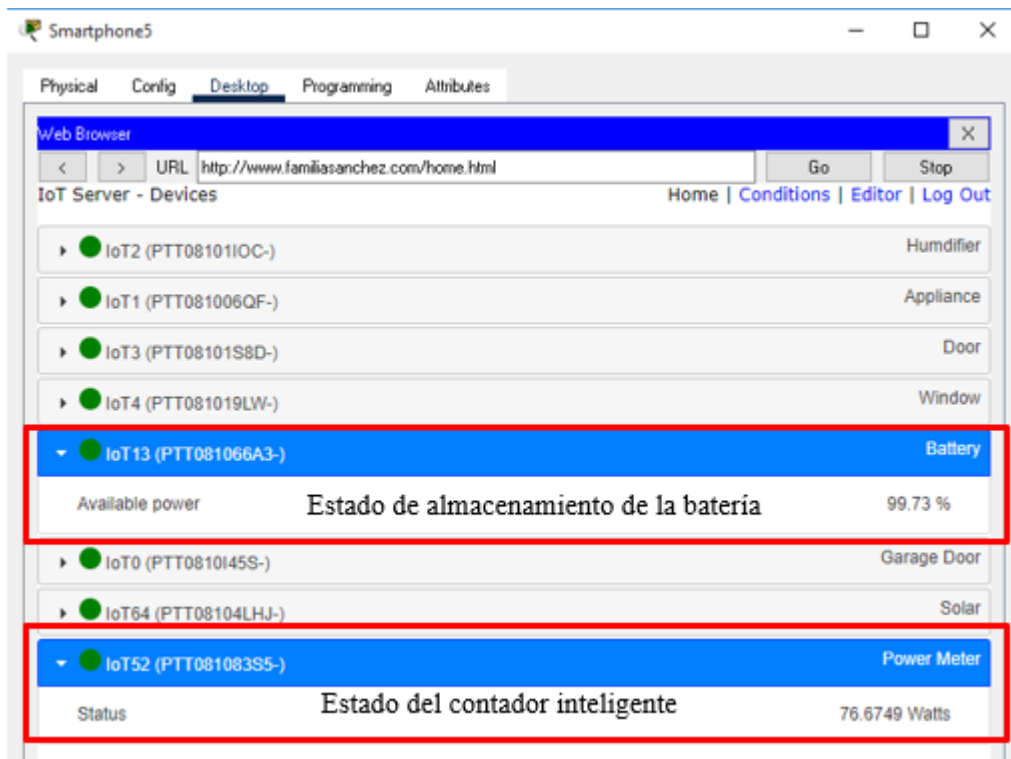


Figura 30. Energía eólica y contador inteligente

Evaluación de la simulación

La evaluación de la simulación del modelo de red propuesto de acuerdo se efectúa con la necesidad de realizar un análisis y la respectiva verificación del correcto funcionamiento de todos los componentes que intervienen en la simulación del modelo de red. El tiempo de respuesta de la simulación es importante porque ayuda a palpar efectos negativos que pueda tener el modelo de red propuesto.

Evaluación del rendimiento de la simulación del modelo de red propuesto

Una herramienta eficiente al momento de controlar y resolver problemas relacionados con el rendimiento de la red de comunicación es establecer una línea de base de red. Una

línea de base es un proceso o método de estudio de red en intervalos regulares con la finalidad de asegurar el correcto funcionamiento de su diseño.

La línea de base efectiva se logra a través de tiempo, consiste en medir el rendimiento de distintos momentos y distintas cargas con exactamente el mismo comando esto ayuda a tener una idea más precisa del rendimiento de la red. Se pudieron determinar los tiempos de respuesta del modelo de red, esto es, cuan rápido responde el sistema al ser puesto a prueba en un posible caso donde se aplique cada una de las características que definen al modelo de red propuesto. Desde un Smartphone se enviaron paquetes con el comando “Ping” seguido de la IP (172.16.0.5) perteneciente a uno de los dispositivos IoT conectado a la red de una vivienda, esto con el fin de comprobar que la red se encuentra funcionando de una manera correcta. Se obtuvo el tiempo de respuesta del modelo de red usando la siguiente fórmula para sacar el promedio de las pruebas realizadas con el método de línea de base de red, figura 31.

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^N X_i}{N}$$

Para ello, sumamos el promedio de los tiempos de ejecución que nos brinda el resultado de las pruebas de rendimiento, figura 31 y las dividimos por el número total de elementos. Lo que da un resultado de 14 milisegundos que es un tiempo excelente en lo que tienen que ver con la eficiencia del modelo de red teniendo en cuenta que una de sus características principales es que funcione para el monitoreo y control de dispositivos IoT.

Imagen 26/12/2020

```
C:\>ping 172.16.0.5

Pinging 172.16.0.5 with 32 bytes of data:

Reply from 172.16.0.5: bytes=32 time=15ms TTL=123
Reply from 172.16.0.5: bytes=32 time=11ms TTL=123
Reply from 172.16.0.5: bytes=32 time=9ms TTL=123
Reply from 172.16.0.5: bytes=32 time=12ms TTL=123

Ping statistics for 172.16.0.5:
    Packets: Sent = 4, Received = 4, Lost = 0 (0% loss),
    Approximate round trip times in milli-seconds:
        Minimum = 9ms, Maximum = 15ms, Average = 11ms
```

Imagen 27/12/2020

```
C:\>ping 172.16.0.5

Pinging 172.16.0.5 with 32 bytes of data:

Reply from 172.16.0.5: bytes=32 time=11ms TTL=123
Reply from 172.16.0.5: bytes=32 time=13ms TTL=123
Reply from 172.16.0.5: bytes=32 time=17ms TTL=123
Reply from 172.16.0.5: bytes=32 time=30ms TTL=123

Ping statistics for 172.16.0.5:
    Packets: Sent = 4, Received = 4, Lost = 0 (0% loss),
    Approximate round trip times in milli-seconds:
        Minimum = 11ms, Maximum = 30ms, Average = 17ms
```

Figura 31. Ejecución de un mismo comando en diferentes intervalos de tiempo.

Conclusión del análisis:

Con la realización de simulación del modelo de red propuesto se cumplieron los objetivos requeridos. Se puede observar que la red LAN se encuentra funcionando correctamente con todos sus elementos. La figura 25 y las demás figuras expuestas a lo largo del capítulo de análisis e interpretación de resultados de la simulación permitieron observar que los paquetes, las peticiones y tareas efectuadas se trasladaron sin ningún problema por la red como prueba de eficiente funcionamiento.

CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN

Concluida la investigación se pudo evidenciar que simular una buena arquitectura de red de comunicación híbrida donde se combina las mejores características de dos o más redes de comunicación, permite obtener un gran número de conexiones y caminos de transmisión de datos, éstas fusionadas con algunas tecnologías de las redes inteligentes como la medición avanzada permiten ofrecer mayores beneficios a los usuarios y a las empresas encargadas de brindar el servicio eléctrico.

En la investigación de Yun y Yuxin [59] recalcan las características principales para una integración efectiva del internet de las cosas en las redes inteligentes, también presentan 3 capas (percepción, red y la de aplicación) .El concepto de internet de las cosas es el encargado de la interconexión de dispositivos a internet, esto junto con una adecuada red de comunicación donde su principal característica es la comunicación bidireccional la cual permite conectar y desconectar servicios o dispositivos remotos a distancia, vigilar la tensión y la corriente, en el caso de la simulación realizada en este trabajo investigativo se hace uso de una red de telefonía celular conectada a nuestra nube de interconexión donde desde un teléfono se puede monitorear y manipular la funcionabilidad de los dispositivos conectados a una determinada red.

En la investigación de Annaswamy [60] analizan varios temas sobre la evolución de las redes eléctricas inteligentes, las oportunidades y desafíos que presentan para el control, lo importante y beneficioso que es tener una buena arquitectura de red de comunicación, basándose como referencia en el modelo IEEE visión for Smart grid controls: 2030.

Los trabajos investigativos anteriormente analizados coinciden que la implementación de nuevas tecnologías permite aumentar la productividad de la red y facilitan el acceso y transferencia de la información. Finalmente se puede decir que el software de simulación de Cisco Packet Tracer ofrece una gran cantidad de ventajas en cuanto a la simulación de redes de comunicación, este simulador cuenta además con una amplia categoría de dispositivos IoT tanto para: hogares inteligentes, Smart City, Industrial y Power Grid. Los mismo que fueron de gran ayuda para el desarrollo del modelo de red propuesto y cumplir con los objetivos de este trabajo investigativo.

CAPITULO V: CONCLUSIONES

Con la obtención de los resultados en la investigación, se puede divisar que los objetivos planteados en este trabajo investigativo fueron cumplidos, esto gracias a las técnicas y métodos de búsqueda de información los cuales permitieron obtener las diferentes fuentes bibliográficas que nos ayudaron a saber cuál es el funcionamiento de las redes de comunicación en las redes inteligentes.

Con la información recopilada de varios softwares de simulación para redes de comunicación existentes en el mercado, se pudo realizar el análisis de las diferentes características que presentan cada uno de estos con la finalidad de escoger el que por características y funcionalidades se adaptó más a este trabajo de investigación.

Se realizó el modelado y simulación en el programa Cisco Packet Tracer de una infraestructura de red de comunicación basada en estándares internacionales. Para lograr este objetivo fue necesario el uso varias tecnologías: firewall, servidores (DHCP, DNS, IoT), enrutadores, protocolo de información de enrutamiento, dispositivos IoT, energías renovables, dispositivos de medición de energía (contadores inteligentes).

Las redes eléctricas tradicionales y las redes de comunicación son la fórmula para obtener una red inteligente. Con la revisión de los diferentes trabajos relacionados a esta investigación y el trabajo realizado en el capítulo de análisis y resultados podemos concluir que tener una correcta infraestructura de red de comunicación integra y segura es importante para el funcionamiento, operabilidad y desarrollo de una micro red inteligente.

RECOMENDACIONES

De acuerdo con los análisis, metodologías y pruebas se recomienda utilizar una arquitectura de red de comunicación adecuada que permite operar y administrar la red eléctrica con el fin de mejorar la calidad del suministro eléctrico.

Se recomienda que se haga uso de nuevas tecnologías tanto de comunicación como de equipos para medición inteligente, en consecuencia, se tendrá un mejor monitoreo de la red y a su vez se tendrá un mejor flujo de información con el fin de aumentar satisfacción del usuario.

Se recomienda establecer una arquitectura de red, la cual muestre el diseño de la red de comunicación, y es donde va especificado los componentes físicos de una red, su organización funcional y operacional de cómo está configurada.

Se recomienda trabajar con estándares internacionales ya que ofrecen la posibilidad de utilizar un conjunto de metodologías, acciones, herramientas y técnicas, que fueron estudiadas, analizada, aplicadas y probadas con resultados positivos.

Se recomienda trabajar con el software de simulación de Cisco Packet Tracer en la carrera de Ingeniería en Sistemas debido a su potencia, a su útil aprendizaje. Además, ofrece un entorno de pruebas para redes y dispositivos de comunicación donde el estudiante puede experimentar nuevas tecnologías y ver cómo afectarían en el comportamiento y rendimiento de la red.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] “Qué es una red inteligente | ABB.” [Online]. Available: <https://new.abb.com/es/redes-inteligentes/que-es-una-red-inteligente>. [Accessed: 24-Sep-2020].
- [2] P. Zhao, X. Chen, P. Yu, W. Li, X. Qiu, and S. Guo, “Risk assessment and optimization for key services in smart grid communication network,” in *Proceedings of the IM 2017 - 2017 IFIP/IEEE International Symposium on Integrated Network and Service Management*, 2017, pp. 600–603.
- [3] A. Donuk, I. El-Aff, and M. Yilmaz, “Metering and data processing in a micro-scale area for smart grid applications,” in *2016 4th International Istanbul Smart Grid Congress and Fair (ICSG)*, 2016, pp. 1–5.
- [4] T. Ilamparithi, S. Abourdia, and T. Kirk, “On the use of real time simulators for the test and validation of protection and control systems of micro grids and smart grids,” in *2016 Saudi Arabia Smart Grid (SASG)*, 2016, pp. 1–5.
- [5] H. Shi, F. Ning, W. Li, and T. A. Gulliver, “Cooperative communications and mesh networks for the smart grid data backhaul,” in *IEEE Pacific RIM Conference on Communications, Computers, and Signal Processing - Proceedings*, 2013, pp. 313–317.
- [6] W. Luan, D. Sharp, and S. Lancashire, “Smart grid communication network capacity planning for power utilities,” in *2010 IEEE PES Transmission and Distribution Conference and Exposition: Smart Solutions for a Changing World*, 2010, pp. 1–4.
- [7] H. B. Jond, R. Benveniste, and V. V. Nabiyev, “Peak load appliance scheduling for demand-side management in the future smart grids,” in *2015 3rd International Istanbul Smart Grid Congress and Fair (ICSG)*, 2015, pp. 1–4.
- [8] P. Bansal and A. Singh, “Smart metering in smart grid framework: A review,” in *2016 Fourth International Conference on Parallel, Distributed and Grid Computing (PDGC)*, 2016, pp. 174–176.
- [9] H. Farooq and L. T. Jung, “Choices available for implementing smart grid communication network,” in *2014 International Conference on Computer and Information Sciences, ICCOINS 2014 - A Conference of World Engineering, Science and Technology Congress, ESTCON 2014 - Proceedings*, 2014, pp. 1–5.
- [10] W. M. Giral-Ramírez *et al.*, “Smart grids in the colombian electric system: Current situation and potential opportunities,” *Tecnura*, vol. 21, no. 53, pp. 119–137, 2017.

- [11] S. Cui, Q. Yu, G. Gu, and Q. Gang, "Research on the architecture of electric power information communication network for smart grid," in *2017 IEEE Conference on Energy Internet and Energy System Integration, EI2 2017 - Proceedings*, 2017, vol. 2018-January, pp. 1–4.
- [12] R. Daryapurkar and R. G. Karandikar, "WiMAX for data aggregation in smart grid communication network - A review," in *Proceedings of the 2017 International Conference on Wireless Communications, Signal Processing and Networking, WiSPNET 2017*, 2018, vol. 2018-January, pp. 97–100.
- [13] N. Mincov, "Methodological approach in creating technical guidelines for planning smart grid communication networks," in *2013 IEEE PES Conference on Innovative Smart Grid Technologies, ISGT LA 2013*, 2013.
- [14] "Investigación de redes inteligentes: Comunicaciones - Investigación de redes inteligentes: Comunicaciones - Visión de IEEE para comunicaciones de redes inteligentes: Hoja de ruta para 2030 y más allá - Estándar IEEE." [Online]. Available: <https://ieeexplore.ieee.org/document/6690098>. [Accessed: 27-Sep-2020].
- [15] L. Jessica, E. Cecibel, and P. M. José, "¿Cómo referenciar este artículo?," *Rev. Científica Univ. y Soc.*, vol. 8, pp. 80–86, 2016.
- [16] P. Solanilla Franco and Á. Ponce Plaza, "Energías renovables desplegables: hacia las misiones sostenibles. , 2011. Disponible en web:," *IEEE (Instituto Español Estud. Estratégicos)*, pp. 1–19, 2011.
- [17] E. Dalmazzo-bermejo and L. Espinoza-brito, "Production of non-traditional renewable energy in Latin America : economy and," no. 2016, pp. 63–82, 2017.
- [18] R. Adinberg, D. Zvegilsky, and M. Epstein, "Heat transfer efficient thermal energy storage for steam generation," *Energy Convers. Manag.*, vol. 51, no. 1, pp. 9–15, Jan. 2010.
- [19] Y. Fang, S. Zhao, and Z. Li, "Concentrating Solar Power Station Optimal Operation Model," in *2nd IEEE Conference on Energy Internet and Energy System Integration, EI2 2018 - Proceedings*, 2018.
- [20] J. F. Sanz Osorio and C. Almecija, *Energía hidroeléctrica*. Prensas Universitarias de Zaragoza, 2008.
- [21] PHOTON, "Luz en la mitad del mundo," 2011.
- [22] R. Herrera and L. Herrera, "Sistemas de Comunicaciones y Redes de Datos en Smart Grids, una Revisión al Estado del Arte," *Rev. Técnica "energía,"* vol. 12, pp. 313–320, 2016.
- [23] R. Franco-Manrique, E. Gómez-Luna, C. A. Ramos-Sánchez, R. Franco-Manrique, E. Gómez-Luna, and C. A. Ramos-Sánchez, "Smart grid analysis and management in Colombia towards ETAP Real Time solution," *Ingeniare. Rev. Chil. Ing.*, vol. 26, no. 4, pp. 599–611, Dec. 2018.

- [24] E. Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Ingeniería., C. Ángeles-Camacho, and M. García-Martínez, *Ingeniería, investigación y tecnología.*, vol. 14, no. 1. Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México, 2013.
- [25] S. Pérez, G. Mercado, and C. Taffernaberry, *SG-SM - Smart Grid San Martin Red de Distribución y Generación de Energía Inteligente en Ciudad Gral San Martin – Mendoza.* 2015.
- [26] N. A. N. Fan, “4G / LTE Technology For Smart Grid Communication Infrastructure,” pp. 2–5.
- [27] Y. andrés Montoya Mendoza, jose E. Ramirez, T. P. Perez Di Santis, L. M. Rujano Molina, and N. A. Garcia Perez, “State of Art of Smart Grid: Part I,” pp. 87–107, 2015.
- [28] V. A. Gómez, C. Hernández, and E. Rivas, “Visión General, Características y Funcionalidades de la Red Eléctrica Inteligente (Smart Grid),” *Inf. tecnológica*, vol. 29, no. 2, pp. 89–102, 2018.
- [29] R. Bayindir, I. Colak, G. Fulli, and K. Demirtas, “Smart grid technologies and applications,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 66. Elsevier Ltd, pp. 499–516, 01-Dec-2016.
- [30] J. Shen, C. Jiang, Y. Liu, and X. Wang, “A Microgrid Energy Management System and Risk Management under an Electricity Market Environment,” *IEEE Access*, vol. 4, no. c, pp. 2349–2356, 2016.
- [31] Y. Guo, J. Xiong, S. Xu, and W. Su, “Two-Stage Economic Operation of Microgrid-Like Electric Vehicle Parking Deck,” *IEEE Trans. Smart Grid*, vol. 7, no. 3, pp. 1703–1712, 2016.
- [32] D. K. Aagri and A. Bisht, “Export and Import of Renewable energy by Hybrid MicroGrid via IoT,” *Proc. - 2018 3rd Int. Conf. Internet Things Smart Innov. Usages, IoT-SIU 2018*, pp. 1–4, 2018.
- [33] W. Mauricio *et al.*, “Redes inteligentes en el sistema eléctrico co- lombiano: revisión de tema. Revista Tecnura, 21(53), 119-137,” no. April 2018, 2017.
- [34] A. Supriya, S. Ramgopal, and S. M. George, “Near field communication based system for health monitoring,” in *RTEICT 2017 - 2nd IEEE International Conference on Recent Trends in Electronics, Information and Communication Technology, Proceedings*, 2018, vol. 2018-January, pp. 653–657.
- [35] S. Saloni and A. Hegde, “WiFi-aware as a connectivity solution for IoT: Pairing IoT with WiFi aware technology: Enabling new proximity based services,” in *2016 International Conference on Internet of Things and Applications, IOTA 2016*, 2016, pp. 137–142.
- [36] P. M. Linh An and T. Kim, “A Study of the Z-Wave Protocol: Implementing Your Own Smart Home Gateway,” in *2018 3rd International Conference on Computer*

and Communication Systems, ICCCS 2018, 2018, pp. 462–466.

- [37] A. Jesús González García, J. López, V. Xavi, and V. Guillen, “IoT: Dispositivos, tecnologías de transporte y aplicaciones,” 2017.
- [38] J. Wang, M. Zhang, X. Yang, K. Long, and J. Xu, “HTTP-sCAN: Detecting HTTP-flooding attack by modeling multi-features of web browsing behavior from noisy web-logs,” *China Commun.*, vol. 12, no. 2, pp. 118–128, Feb. 2015.
- [39] H. Chen, H. Leng, H. Tang, J. Zhu, H. Gong, and H. Zhong, “Research on model management method for Micro-grid,” *Proc. 2017 IEEE 2nd Inf. Technol. Networking, Electron. Autom. Control Conf. ITNEC 2017*, vol. 2018-Janua, pp. 163–166, 2018.
- [40] G. K. Venayagamoorthy *et al.*, “for a Smart Microgrid,” *IEEE Trans. Neural Networks Learn. Syst.*, vol. 27, no. 8, pp. 1643–1656, 2016.
- [41] C. Bordons, F. García-Torres, and L. Valverde, “Gestión Óptima de la Energía en Microrredes con Generación Renovable,” *RIAI - Rev. Iberoam. Autom. e Inform. Ind.*, vol. 12, no. 2, pp. 117–132, 2015.
- [42] B. Khan and P. Singh, “Selecting a meta-heuristic technique for smart micro-grid optimization problem: A comprehensive analysis,” *IEEE Access*, vol. 5, pp. 13951–13977, 2017.
- [43] K. Goto, K. Okuda, R. Nakamura, and H. Hadama, “Experimental evaluation of a path switching function to avoid delay spikes in wireless LANs,” in *19th Asia-Pacific Network Operations and Management Symposium: Managing a World of Things, APNOMS 2017*, 2017, pp. 267–270.
- [44] H. T. Haider, O. H. See, and W. Elmenreich, “A review of residential demand response of smart grid,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 59, pp. 166–178, 2016.
- [45] A. Mera *et al.*, “TESIS DE GRADO Autores: ‘EVALUACIÓN DE LOS ATAQUES DE NAVEGACIÓN DE SERVICIO Y FORMAS DE PROTECCIÓN APLICADAS A LA RED DE DATOS DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI EXTENSIÓN LA MANÁ.’” 2015.
- [46] V. C. Gungor *et al.*, “A Survey on Smart Grid Potential Applications and Communication Requirements,” *IEEE Trans. Ind. Informatics*, vol. 9, no. 1, pp. 28–42, Feb. 2013.
- [47] “P2030.7 / D10, julio de 2017 - P2030.7 / D10, julio de 2017 - Proyecto de norma IEEE para la especificación de controladores de microrred - Estándar IEEE.” [Online]. Available: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8031306>. [Accessed: 02-Nov-2020].
- [48] T. Basso, S. Member, J. Hambrick, D. Deblasio, and S. Member, “Update and Review of IEEE P2030 Smart Grid Interoperability and IEEE 1547 Interconnection Standards,” pp. 1–7, 2011.

- [49] W. M. Giral Ramírez, H. J. Celedón Flórez, E. Galvis Restrepo, and A. T. Zona Ortiz, “Redes inteligentes en el sistema eléctrico colombiano: Revisión de tema,” *Tecnura*, vol. 21, no. 53, pp. 119–137, 2017.
- [50] CEN-CENELEC-ETSI Coordination Group on Smart Energy Grids (CG-SEG), “Smart Grid Set of Standards,” p. 266, 2017.
- [51] M. Vijayalakshmi, P. Desai, and M. M. Raikar, “Packet Tracer Simulation Tool as Pedagogy to Enhance Learning of Computer Network Concepts,” in *2016 IEEE 4th International Conference on MOOCs, Innovation and Technology in Education (MITE)*, 2016, pp. 71–76.
- [52] “NetSim™ Network Simulator™ y enrutador.” [Online]. Available: <https://www.boson.com/netsim-cisco-network-simulator>. [Accessed: 19-Feb-2021].
- [53] R. Mohtasin, P. W. C. Prasad, A. Alsadoon, G. Zajko, A. Elchouemi, and A. K. Singh, “Development of a virtualized networking lab using GNS3 and VMware workstation,” in *2016 International Conference on Wireless Communications, Signal Processing and Networking (WiSPNET)*, 2016, pp. 603–609.
- [54] J.-I. Castillo-Velazquez, F. DeLaCruz-Alejandre, and M. Huerta, “An Approach to Management Assessment for GEANT Backbone Using GNS3 for SNMPv3,” in *2018 IEEE 38th Central America and Panama Convention (CONCAPAN XXXVIII)*, 2018, pp. 1–6.
- [55] A. Otero-ortega and U. Atlántico, “ENFOQUES DE INVESTIGACIÓN TABLA DE CONTENIDO Contenido,” no. August, 2018.
- [56] R. F. Guerrero-Castañeda, M. L. do Prado, M. G. Ojeda-Vargas, R. F. Guerrero-Castaneda, M. L. do Prado, and M. G. Ojeda-Vargas, “Reflexión crítica epistemológica sobre métodos mixtos en investigación de enfermería,” *Enfermería Univ.*, vol. 13, no. 4, pp. 246–252, Oct. 2016.
- [57] P. Nayak and P. Sinha, “Analysis of random way point and random walk mobility model for reactive routing protocols for MANET using netsim simulator,” *Proc. - AIMS 2015, 3rd Int. Conf. Artif. Intell. Model. Simul.*, pp. 427–432, 2016.
- [58] E. Chua, A. Magbag, A. T. Manaloto, M. J. Rabena, and M. R. Rodavia, “Comparative Study on Networking Simulation Tools Using Correlation Analysis,” *Proc. - 2018 Int. Symp. Educ. Technol. ISET 2018*, pp. 123–127, 2018.
- [59] Miao Yun and Bu Yuxin, “Research on the architecture and key technology of Internet of Things (IoT) applied on smart grid,” in *2010 International Conference on Advances in Energy Engineering*, 2010, pp. 69–72.
- [60] I. Park and A. New, “SMART GRID IEEE VISION FOR SMART GRID CONTROLS : 2030 AND BEYOND IEEE Vision for Smart Grid Controls : 2030 and Beyond Roadmap Anuradha Annaswamy.”