



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DE UNA RED INALÁMBRICA COMUNITARIA, PARA LA
CONECCION Y USO DEL INTERNET EN LA ALDEA COCOLÁ GRANDE, SANTA EULALIA,
HUEHUETENANGO, GUATEMALA C.A.**

Ricardo Antonio Valenzuela

Asesorado por el M.A. Ing. Christian Antonio Orellana López

Guatemala, abril de 2022

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DE UNA RED INALÁMBRICA COMUNITARIA, PARA LA
CONECCION Y USO DEL INTERNET EN LA ALDEA COCOLÁ GRANDE, SANTA EULALIA,
HUEHUETENANGO, GUATEMALA C.A.**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

RICARDO ANTONIO VALENZUELA

ASESORADO POR EL M.A. ING. CHRISTIAN ANTONIO ORELLANA LÓPEZ

AL CONFERIRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO EN ELECTRÓNICA

GUATEMALA, ABRIL DE 2022

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Kevin Armando Cruz Lorente
VOCAL V	Br. Fernando José Paz González
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Julio González Podszueck
EXAMINADOR	Ing. Edwin Alberto Solares Martínez
EXAMINADOR	Ing. Enrique Edmundo Ruiz Carballo
EXAMINADORA	Inga. Marlene Lone de Hidalgo
SECRETARIO	Ing. Francisco Javier González López

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DE UNA RED INALÁMBRICA COMUNITARIA, PARA LA CONECCION Y USO DEL INTERNET EN LA ALDEA COCOLÁ GRANDE, SANTA EULALIA, HUEHUETENANGO, GUATEMALA C.A.

Tema que me fuera asignado por la Dirección de Escuela de Estudios de Postgrado con fecha 12 de enero de 2022.

Ricardo Antonio Valenzuela



EEPFI-PP-0168-2022

Guatemala, 12 de enero de 2022

Director
Armando Alonso Rivera Carrillo
Escuela De Ingenieria Mecanica Electrica
Presente.

Estimado Ing. Rivera

Reciba un cordial saludo de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería.

El propósito de la presente es para informarle que se ha revisado y aprobado el Diseño de Investigación titulado: **DISEÑO DE UNA RED INALAMBRICA COMUNITARIA, PARA LA CONECCION Y USO DEL INTERNET EN LA ALDEA COCOLÁ GRANDE, SANTA EULALIA, HUEHUETENANGO, GUATEMALA C.A.**, el cual se enmarca en la línea de investigación: **Infraestructura de red - Infraestructura de red**, presentado por el estudiante **Ricardo Antonio Valenzuela** carné número **8813626**, quien optó por la modalidad del "PROCESO DE GRADUACIÓN DE LOS ESTUDIANTES DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA OPCIÓN ESTUDIOS DE POSTGRADO". Previo a culminar sus estudios en la Maestría en ARTES en Ingeniería Para La Industria Con Especialidad En Telecomunicaciones.

Y habiendo cumplido y aprobado con los requisitos establecidos en el normativo de este Proceso de Graduación en el Punto 6.2, aprobado por la Junta Directiva de la Facultad de Ingeniería en el Punto Décimo, Inciso 10.2 del Acta 28-2011 de fecha 19 de septiembre de 2011, firmo y sello la presente para el trámite correspondiente de graduación de Pregrado.

Atentamente,

"Id y Enseñad a Todos"



Mtro. Christian Antonio Orellana López
Asesor(a)



Mtro. Mario Renato Escobedo Martinez
Coordinador(a) de Maestría

Mtro. Edgar Darío Álvarez Cotí
Director
Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería





EEP-EIME-0168-2022

El Director de la Escuela De Ingenieria Mecanica Electrica de la Facultad de Ingenieria de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el visto bueno del Coordinador y Director de la Escuela de Estudios de Postgrado, del Diseño de Investigación en la modalidad Estudios de Pregrado y Postgrado titulado: **DISEÑO DE UNA RED INALAMBRICA COMUNITARIA, PARA LA CONECCION Y USO DEL INTERNET EN LA ALDEA COCOLÁ GRANDE, SANTA EULALIA, HUEHUETENANGO, GUATEMALA C.A.**, presentado por el estudiante universitario **Ricardo Antonio Valenzuela** , procedo con el Aval del mismo, ya que cumple con los requisitos normados por la Facultad de Ingenieria en esta modalidad.

ID Y ENSEÑAD A TODOS

Ing. Armando Alonso Rivera Carrillo
Director
Escuela De Ingenieria Mecanica Electrica

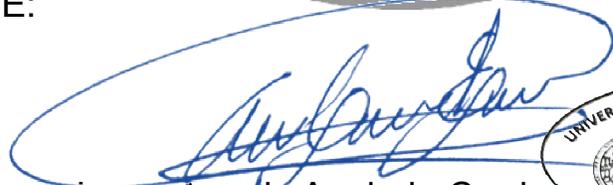
Guatemala, enero de 2022

Decanato
Facultad de Ingeniería
24189101- 24189102
secretariadecanato@ingenieria.usac.edu.gt

LNG.DECANATO.OI.273.2022

La Decana de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, al Trabajo de Graduación titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DE UNA RED INALÁMBRICA COMUNITARIA, PARA LA CONECCION Y USO DEL INTERNET EN LA ALDEA COCOLÁ GRANDE, SANTA EULALIA, HUEHUETENANGO, GUATEMALA C.A.**, presentado por: **Ricardo Antonio Valenzuela**, después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



ing. Aurelia Anabela Cordova Estrada

Decana

Guatemala, abril de 2022

AACE/gaoc

ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Por haberme bendecido durante toda mi vida y proveerme de sabiduría y de los recursos para lograr mis metas personales y familiares.
- Mis padres** Benedicto Hernández (q. e. p. d.) de quien estoy seguro de que desde el cielo está aplaudiendo de felicidad. Y a mi mamá Jesús Valenzuela a quien doy de regalo mi diploma profesional, que siempre me ha pedido.
- Mi esposa** Rosa Esmeralda Avila Molina por su amor incondicional, su apoyo y quien me alentó para lograr la meta de graduarme.
- Mis hijos** Gerson Ricardo, Lucía Esmeralda y Ricardo Antonio Valenzuela Avila, a quienes dedico este acto y espero que sirva de modelo y de ejemplo de perseverancia para sus vidas.
- Mis hermanos** José Gerardo y Betzabé Hernández, sus parejas y mis sobrinos por compartir momentos inolvidables conmigo como lo es este acto a quienes dedico con alegría y orgullo.

Mi tía

Elena del Cid que como dice mi mamá, es mi segunda madre, a mis primos en general quienes siempre han deseado lo mejor para mí y quienes me manifiestan su orgullo y felicidad por haber alcanzado este sueño.

Mis amigos

Innumerables amigos, quiero decirles que a cada uno en nombre propio les dedico este acto y con orgullo decirles que, aunque ya viejo si se pudo.

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala	Por ser la institución académica que me impulsaba y me llevara paso a paso a convertirme en un profesional.
Facultad de Ingeniería	A sus profesores, auxiliares y personal administrativo en general, por su enseñanza, guía, consejos y todo el conocimiento compartido para mi crecimiento personal.
Amigos de la Facultad	Carlos Vin Téllez, Lauriano Gil, Sergio Vásquez, Armando Catalán, Manuel Ramírez y muchos buenos compañeros con quienes compartí toda la carrera y después de esta.
Coordinador de la maestría	Mtro. Mario Renato Escobedo Martínez por su ardua labor y apoyo al programa de graduados pregrado y postgrado.
Aldea Cocolá Grande	Al alcalde auxiliar, COCODE y consejo de padres de familia, por ser mi fuente de inspiración y por todo su apoyo en el proceso de elaboración de la tesis.

**Al profesor de la Aldea
Cocolá Edinson Oswali
Diaz Mendez**

Y director del Instituto Nacional de Educación
Básica, por ser un facilitador con todo lo
solicitado en mi proceso de investigación.

**Familiares y amigos en
general**

A quienes agradezco por estar ahí por sus
buenos deseos y sabios consejos.

.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
LISTADO DE SÍMBOLOS	VII
GLOSARIO	IX
RESUMEN.....	XIII
1. INTRODUCCIÓN	1
2. ANTECEDENTES	3
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	9
4. JUSTIFICACIÓN	13
5. OBJETIVOS	17
5.1. General.....	17
5.2. Específicos	17
6. NECESIDADES POR CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN	19
7. MARCO TEÓRICO.....	27
7.1. Redes inalámbricas	27
7.1.1. Redes Inalámbricas de Acceso RAN.....	27
7.1.2. Características fundamentales de los estándares <i>radio access networks</i>	29
7.1.3. Tipos de multiplexación en RF.....	29

7.1.4.	Modulación digital.....	35
7.1.5.	Velocidad demandada de internet.....	36
7.1.6.	Arreglo de antenas (MIMO)	37
7.1.7.	Redes inalámbricas LAN.	38
7.1.8.	Arquitectura red LAN inalámbrica.....	39
7.1.9.	Estándar WI-FI	40
7.1.10.	Estructura de capas WI-FI.....	41
7.1.11.	El <i>roadmap</i> de Wi-Fi.....	42
7.1.12.	La familia de protocolos WI-FI.....	43
7.1.13.	Versión estándar WI-FI 5 o IEEE 802.11ac.....	44
7.1.14.	Versión estándar WI-FI 6.....	46
7.1.15.	Versión estándar White-Fi.....	52
7.1.16.	Redes de microondas	55
7.1.16.1.	Aplicaciones de las redes de microondas.....	57
7.1.16.2.	Características clave	57
7.1.16.3.	Rangos de radiofrecuencia de uso.....	58
7.1.16.4.	Planificación de enlaces de microondas.....	58
7.1.16.5.	Arquitectura enlace de microondas.	60
7.1.16.6.	Cálculo de pérdidas en la ruta de un radioenlace.....	61
7.1.16.7.	Presupuesto de trayectoria de radioenlace, en el espacio libre, en decibelios	62
7.2.	Red inalámbrica comunitaria.....	64
7.2.1.	Historia	64
7.2.2.	Actualidad.....	64
7.2.3.	Concepto.....	65

7.2.4.	Organización.....	66
7.2.5.	Objetivos.....	66
7.2.6.	Importancia.....	67
8.	PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS	69
9.	METODOLOGÍA.....	73
9.1.	Diseño del marco metodológico de la investigación.	73
9.2.	Alcance y técnica de estudio	73
9.3.	Paradigma de la investigación.....	74
9.4.	Enfoque de la investigación.....	74
9.5.	Población de estudio	74
9.6.	Tamaño de la muestra.....	75
9.7.	Técnicas de investigación.....	75
9.8.	Instrumentos de recolección de datos	75
9.9.	Variables.....	76
10.	TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN	79
11.	CRONOGRAMA.....	81
12.	FACTIBILIDAD DE ESTUDIO	83
13.	REFERENCIAS.....	85

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Ruta Aldea Cocolá Grande	11
2.	Logo Escuela Cocolá Grande	13
3.	Crecimiento de internet	20
4.	Diagrama Ishikawa.....	24
5.	Ubicación coordenadas Aldea Cocolá.....	25
6.	Esquema de multiplexación	30
7.	Multiplexación por división de frecuencia	31
8.	Acceso Múltiple por división de tiempo	31
9.	Diferencia entre Ofdma Y Mu Mimo	33
10.	<i>Sc-Fdma in the Lte</i>	34
11.	Modulación D=digital.....	35
12.	Aplicaciones vs velocidad de internet.....	37
13.	Multiplexación espacial Mimo.....	38
14.	<i>Radio access networks</i>	39
15.	Estructura de capas Wi-Fi	41
16.	<i>Roadmap-Wi-Fi</i>	42
17.	Mu-Mimo	45
18.	Comparación Ofdm y Ofdma.....	48
19.	Uplink Mu-Mimo múltiples flujos espaciales	49
20.	Comparación de Ofdma t Mu-Mimo	50
21.	Modo de trabajo Bbs coloración.....	51
22.	Capacidad de acceso Wi-Fi6 (11ax)	52
23.	Tecnología <i>White-Fi</i>	53

24.	<i>Backbone</i> de Microondas.....	56
25.	Enlace de microondas.....	56

TABLAS

I.	Estándares RAN 3GPP.....	28
II.	Características Wi-Fi.....	43
III.	Características de IEEE802.11ac	44
IV.	Resumen de especificaciones Wi-Fi 6	47
V.	Características de IEEE802.11 <i>af White Fi</i>	54
VI.	Características clave de enlaces microondas.....	58
VII.	Ecuación presupuestaria de radioenlace	63
VIII.	Variables de estudio	76
IX.	Cronograma de actividades	81
X.	Costos de trabajo de investigación	83

LISTADO DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
E1	2.048 millones de bits/segundo
DB	Decibel
Gbps	Gigabit por segundo
KHZ	Kilohercios
MHZ	Megahercio
%	Porcentaje
RF	Radiofrecuencia
Q	Quetzales

GLOSARIO

Ancho de banda	Cantidad de datos transferidos a través de un medio en un determinado tiempo.
Antenas isotrópicas	Antena que radia la misma intensidad de radiación en todas las direcciones del espacio.
Bytes	Conjunto de 8 bits.
Bit	Unidad mínima de información que tiene los valores cero o uno.
Brecha digital	Desigualdad en el acceso, uso o impacto de las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) entre grupos sociales.
Backbone	Conjunto de <i>routers</i> de alta capacidad de conexión en una red de telecomunicaciones.
Ciberespacio	Espacio virtual creado con medios cibernéticos.
Conectividad	Capacidad de conectarse a una red desde un ordenador o dispositivo móvil.

Coordenadas	Sistema de referencia que permite que cada ubicación en la tierra sea especificada por un conjunto de números.
Desarrollo digital	Proceso que promueve la transición hacia la sociedad de la información y del conocimiento.
Decibelios	Unidad que se utiliza para medir la intensidad del sonido.
<i>Down link</i>	Transmisión de información de un equipo de comunicaciones hacia un computador o dispositivo personal.
Estándar	Conjunto de reglas que deben cumplir los productos, procedimientos e investigaciones que afirman ser compatibles con el mismo producto.
Frecuencia	Número de repeticiones de un fenómeno eléctrico.
Hipótesis	Proposición que aún no ha sido corroborada y a partir de ella se puede desarrollar una investigación.
Infraestructura de red	Elementos pasivos (sin energía) que se utilizan en un sistema de telecomunicaciones.
Internet	Conjunto descentralizado de redes de comunicaciones interconectadas.

<i>Jitter</i>	Retrasos intermitentes durante la transmisión de datos.
Modelo OSI	Modelo de interconexión de sistemas abiertos.
Multicausalidad	Principio que sostiene que un fenómeno siempre cuenta con múltiples causas.
Plataforma <i>learning</i>	Espacio virtual de aprendizaje orientado a capacitación a distancia.
Paradigma	Modelo patrón o ejemplo que debe seguirse en determinada situación.
<i>Path loss</i>	Programa o herramienta para el diseño de radio de enlaces.
Protocolo	Conjunto de reglas.
Red de telecomunicaciones	Conjunto de equipos y tecnologías necesarios para intercambio de información.
Red inalámbrica	Comunicación entre dispositivos por medio de ondas electromagnéticas.
<i>Roadmap</i>	Secuencia general de pasos a seguir en un proceso.
<i>Router</i>	Dispositivo que permite interconectar diferentes equipos de una misma red de área local o amplia por medio de programas informáticos.

<i>Streaming</i>	Tecnología multimedia que envía contenidos de video y audio a su dispositivo conectado a internet.
Transformación digital	Aplicación de capacidades digitales a procesos, productos y activos para mejorar la eficiencia.
TIC	Tecnologías de la Comunicación y la Información.
Tecnologías punto a punto	Arquitectura de red en la cual un dispositivo se comunica únicamente con otro dispositivo.
Tecnologías punto multipunto	Arquitectura de red en la cual un equipo se comunica con múltiples equipos.
<i>UP link</i>	Transmisión de información desde un ordenador o dispositivo personal hacia un equipo de comunicaciones.

RESUMEN

La investigación pretende hacer el estudio de campo y análisis de prefactibilidad en la Aldea Cocolá Grande, del municipio de Santa Eulalia, departamento de Huehuetenango, para el diseño de una red comunitaria de telecomunicaciones con infraestructura de soporte de red que contenga los siguientes productos y servicios, el enlace principal con su torre o mástil para el transporte de internet; sistema Wi-Fi para la distribución del internet; su red de cómputo; aplicaciones, un sistema de energía con paneles solares; y una guía para el soporte y mantenimiento de la red.

La inversión en infraestructura de redes de telecomunicaciones comunitarias, impactan directamente sobre los objetivos de desarrollo sostenibles (ODS), como, por ejemplo, salir del ciclo de la pobreza, brindar oportunidades de trabajo, acceso gratuito al conocimiento, alcanzar la igualdad entre los géneros y empoderar a todas las mujeres y niñas, garantizar una vida saludable y promover el bienestar para todos y todas en todas las edades; entre otros.

Es responsabilidad del gobierno, impulsar iniciativas para el establecimiento de políticas públicas regulatorias que fomenten el desarrollo de redes comunitarias con acceso a internet.

Esperando que la siguiente investigación sirva de referente para que distintas asociaciones: ONG, empresas, entidades gubernamentales y academia, se sensibilicen de la importancia del internet, y de que puedan apoyar para financiar proyectos de redes comunitarias.

1. INTRODUCCIÓN

Los operadores de telefonía celular y de servicios digitales, no ven a un poblado de cien habitantes como la comunidad de Cocolá Grande, como un negocio atractivo para su desarrollo, la inversión no justifica un saludable revengo para el mismo. Adicionalmente la Aldea Cocolá Grande no cuenta con energía eléctrica para el despliegue de la infraestructura de red necesaria para que los operadores puedan ampliar sus redes.

La Superintendencia de Telecomunicaciones no ha tenido la capacidad de otorgar frecuencia a las áreas rurales lejanas y más pobres para el despliegue de redes comunitarias de telecomunicaciones con acceso a la banda ancha. Poco o nada les ha interesado a los gobernantes y funcionarios públicos promover políticas públicas de uso del espectro en pro del desarrollo económico y social de las comunidades más necesitadas.

Para esta investigación se formuló la interrogante principal: ¿cuáles deberían de ser los objetivos de sostenibilidad y de empoderamiento local, para el despliegue de una red comunitaria en la Aldea Cocolá Grande, Santa Eulalia, Huehuetenango.

El objetivo central de este trabajo de investigación es formular un plan de sostenibilidad y de empoderamiento local para el despliegue de una red comunitaria de la Aldea Cocolá Grande. Y como objetivos específicos se plantea: el diseño de una red comunitaria; la recomendación de buenas prácticas para poder mantener la red en funcionamiento; la verificación de las políticas

regulatorias e iniciativas de ley existentes; y las recomendaciones de gestión de asistencia social para un proyecto de una red comunitaria.

2. ANTECEDENTES

En el desarrollo se realizó una previa investigación de libros, informes y documentos académicos que tengan relación con el tema propuesto. Que permita formular la base teórica y fundamentación de la misma.

García (2020), en su trabajo Brecha digital en américa latina y el caribe, exponen como objetivo general, evaluar la necesidad que presenta el Internet a nivel mundial y realizar el análisis por cada país para la mejora y ampliación del ancho de banda que permita la inclusión en las áreas más lejanas y se integran las comunidades menos privilegiadas. La metodología utilizada en el informe es mixta. Concluyendo entonces que cada país debe generar sus propias estrategias e invertir en la infraestructura que se requiera, principalmente en las áreas que no tienen el acceso a la tecnología, esto permite oportunidades de los sectores más vulnerables y olvidados por la distancia.

García (2019), pública Promoción del desarrollo digital en Guatemala, retos y acciones. Informe elaborado por el BID (Banco Interamericano de Desarrollo). Como objetivo principal pretenden desarrollar un diagnóstico de línea base sobre el estado de la industria de telecomunicaciones y la banda ancha en Guatemala que abarque la actual situación de la brecha de infraestructura adopción, accesibilidad, políticas públicas y régimen legal. La metodología utilizada en el informe es mixta; Se llegó a la conclusión que el empeño de las instituciones públicas orientadas a promover el desarrollo y extensión de las telecomunicaciones y la banda ancha permitirán canalizar el país hacia la instauración de la digitalización como la palanca para el desarrollo económico, la integración social y la igualdad en el acceso a las oportunidades.

Martínez (2020) en su trabajo Transformación digital compartición de infraestructura en América Latina y el Caribe. Informe elaborado por el BID. Entre sus temáticas principales tiene, abordar esta problemática que se presenta y proporcionar algunas alternativas, en relación a la compartición de la infraestructura entre sectores. El enfoque utilizado en el informe es mixto. Concluyen entonces diciendo que la distribución de infraestructura representa uno de los elementos principales de cualquier iniciativa de política que tenga como propósito apoyar las inversiones de banda ancha, posibilitando liberar los beneficios económicos y sociales de una banda ancha generalizada y asequible.

Baca (2017) en su informe *Community Networks in Latin America: Challenges, Regulations and Solutions*, el cual tiene como objetivo principal definir la situación actual que los gobiernos están enfrentando al querer implementar diseños para la conectividad. La metodología utilizada en el informe es mixta. Durante la última década, numerosas discusiones han destacado el papel fundamental de que la conectividad a Internet juega con cambios fundamentales en los aspectos económicos y sociales en los países latinoamericanos.

La situación varía mucho entre los diferentes países, debido a los ingresos, los grupos y poblaciones urbanas o rurales y las opciones para la conectividad y el internet son limitadas y demasiado caras. Dicho esto, se llega a la conclusión que el estudio reveló la gran variedad de procesos que tienen las redes comunitarias en su región, así como las diferencias que reflejan la diversidad de voces y objetivos que emanan de las propias comunidades. Todavía queda un largo camino por recorrer en la creación de un entorno propicio donde se pueda generar este tipo de proyecto y sustentado en un ámbito económico, organizativo, jurídico y socio-comunitario, lo cierto es que existen bastantes comunidades que

no tienen acceso a servicios de telecomunicaciones actualizados, los cuales deberían ser proporcionados.

Dulong y Tréguer, (2018) en su Libro, *Telecommunications reclaimed: a hands-on guide to networking communities*, tiene como objetivo principal dar una guía sobre cómo construir una red comunitaria, una infraestructura local de telecomunicaciones compartida, gestionada como un bien común, para acceder a internet y a otros servicios de comunicación digital. Fue escrito colectivamente por un grupo de pioneros de redes comunitarias en Europa, activistas e investigadores, concluye con que se debe guiar al lector a fomentar el crecimiento de una red comunitaria, pero también, a los responsables políticos, las administraciones locales y el público en general, a crear las condiciones adecuadas para que las redes comunitarias florezcan y se desarrollen.

Espinal (2017), en su tesis de grado de maestría, Alternativas de acceso a internet para establecimientos educativos rurales oficiales sin cobertura en los municipios no certificados en Antioquia, expone como objetivo general, establecer un plan para optimizar los servicios de internet en los establecimientos educativos en los municipios sin certificación del departamento de Antioquia, basándose en los criterios de recursos, cobertura y eficiencia del sistema. La investigación se desarrolló con el método cualitativo y utilizó las encuestas como instrumento para el levantamiento de datos.

Melo (2018) en su trabajo de investigación de tesis para el grado de doctorado, La integración de las TIC como vía para optimizar el proceso enseñanza-aprendizaje en la educación superior en Colombia, tiene como objetivo principal, crear una estrategia pedagógica que contribuya a las TIC en el proceso de enseñanza aprendizaje de la educación superior, sobre la base de un modelo didáctico, en correspondencia con las condiciones actuales de este nivel

de enseñanza. La metodología de la investigación fue cuantitativa y cualitativa. Myriam Melo, concluye en su trabajo de investigación con lo siguiente: las integraciones de las TIC en el campo de estudio facilitan muchas de las tareas dirigidas a potenciar el pensamiento crítico y participativo, el autoaprendizaje y la formación permanente, asumir con responsabilidad este proceso de cambio en una sociedad del conocimiento requiere el apoyo de las políticas educativas en este ámbito, contar con los recursos materiales y cambio de rol en el desempeño del profesor para aplicar estas tecnologías, haciendo uso de las metodologías y acciones que conduzcan al éxito del proceso educativo.

Arellanos (2014) en su tesis de maestría titulada Radios Cognitivos: Conectividad en zonas rurales utilizando espacios blancos de TV. Tiene como objetivo proponer un sistema de referencia que realice una conexión sencilla, eficiente, accesible, de bajo costo y que permita ampliar el acceso de redes inalámbricas a zonas rurales o excluidas. Brindar servicios de banda ancha a zonas rurales o zonas aisladas.

Méndez (2005), en su trabajo de tesis titulado Internet por satélite, para contribuir al desarrollo de las comunidades rurales en Guatemala, plantea como objetivo general determinar si la internet por satélite contribuye al desarrollo de las comunidades rurales de la zona Paz, Santa Cruz, en el departamento de Quiché. Seguidamente, plantea el objetivo específico, el cual es fijar los servicios que los centros de negocios están brindando actualmente a las comunidades rurales, señalar qué beneficios encuentran los pobladores del área en los centros electrónicos de negocios que brindan servicio de Internet.

Finalmente se concluye exponiendo que los servicios que generalmente se prestan en centros electrónicos son: correo electrónico, videoconferencias, buscador de internet, acceso a bibliotecas digitales, servicio de IRC: chat, alquiler

de equipo de computación, impresión de documentos, llamadas internacionales, recepción y envío de fax, fotocopia de documentos, reservaciones, compra de artículos y contratación de servicios locales del exterior por internet.

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

- Contexto general

La Aldea Cocolá Grande, del municipio de Santa Eulalia plantea grandes retos para tener acceso a la banda ancha y poder beneficiarse del uso del internet, debido a la pobreza; la topografía accidentada; la distancia; la baja densidad de habitantes; el desarrollo desigual entre las áreas rurales y urbanas; y los altos grados de marginación de la población rural e indígena.

- Descripción del problema

Guatemala es un país tercermundista, subdesarrollado y con falta de infraestructura de red eléctrica en algunas áreas rurales. Esto ocasiona que varias comunidades del interior del país no tengan acceso a una señal telefónica ni a una conexión a internet, por la falta de una infraestructura de red eléctrica y la falta de infraestructura de red de operadores de telefonía celular. El último censo del 2019 arrojó que en los hogares donde no existe energía eléctrica, no existe una computadora, y escasamente hay un celular.

Las comunidades rurales como en el caso de la Aldea de Cocolá Grande, se encuentran muy alejadas de zonas desarrolladas, los caminos comunales son de difícil acceso. Los pobladores de la aldea Cocolá Grande, las actividades económicas de hombres y mujeres son un emprendimiento de sobrevivencia.

La pandemia COVID-19 dejó en evidencia las carencias de conectividad a internet en las áreas rurales y además ayudó indirectamente a promocionar la

importancia de las redes de telecomunicaciones comunitarias y su infraestructura, en esas áreas rurales distantes y de difícil acceso, donde el acceso a la banda ancha digital serviría como un motor de, la economía, la salud la educación, y el desarrollo social de la Aldea Cocolá Grande.

Esto lleva a plantear la pregunta principal de este estudio: ¿Cuál debería ser el diseño de una red inalámbrica comunitaria para su despliegue en la Aldea Cocolá Grande?

El acceso a la Banda Ancha y el uso del internet es una necesidad prioritaria y urgente en la Aldea Cocolá Grande, en Guatemala no existen políticas públicas claras para el cierre de la brecha digital en comunidades rurales distantes y sin acceso al internet, pero esto no debe limitar las iniciativas de los grupos de ayuda y de la comunidad.

Para responder a esta interrogante se deberán contestar las siguientes preguntas auxiliares:

- ¿Qué tecnologías inalámbricas punto a punto y punto multipunto facilitan la construcción de redes inalámbricas comunitarias?
- ¿Qué es una red inalámbrica comunitaria?
- ¿Cuál debería de ser la arquitectura e infraestructura de una red inalámbrica comunitaria?
- ¿Cuánto debería de ser la inversión para la implementación de una red inalámbrica comunitaria en la Aldea Cocolá Grande?

- Delimitación del problema

La siguiente investigación se limita a la Aldea Coloca Grande, municipio de Santa Eulalia, departamento de Huehuetenango, Guatemala.

El trabajo de investigación inició en el mes de junio del 2021 y se espera concluir en el mes de diciembre del 2021.

Figura 1. **Ruta Aldea Cocolá Grande**



Fuente: Google Maps (2021). Consulta el 02 de mayo de 2021. Recuperado de <https://www.google.com.gt/maps>.

4. JUSTIFICACIÓN

La realización de la presente investigación se justifica en las líneas de investigación de: Infraestructura y arquitectura de redes inalámbricas, y Gestión de proyectos de telecomunicaciones, de la Maestría Ingeniería para la Industria con especialidad en Telecomunicaciones.

Figura 2. Logo escuela Cocolá Grande



Fuente: [Fotografía de Cocolá Grande]. (Cocolá, Huehuetenango. 2018). Fotos de la biografía de Facebook. Huehuetenango, Guatemala.

Con la siguiente investigación se espera dar los siguientes aportes, elaborar la propuesta de un diseño de una red comunitaria de telecomunicaciones con

acceso a internet, donde colaboran varias asociaciones. Sugiere un proceso de capacitación y una guía para empoderar a un grupo de la comunidad en su uso y mantenimiento, para mantener la red en operación y hacerla sostenible. Es innovadora desde el punto de vista que la población se sensibilice de la importancia del internet, y de que puedan cubrir los costos de operación de la misma, con la ayuda de asociaciones de colaboración. Finalmente busca investigar las iniciativas de ley o favorables políticas regulatorias que permitan implementar la red comunitaria de forma ágil y simple, para que empiece a funcionar.

La investigación pretende hacer el estudio de campo y análisis de prefactibilidad en la Aldea Cocolá Grande, del municipio de Santa Eulalia, departamento de Huehuetenango, para el diseño de una red comunitaria de telecomunicaciones con infraestructura de soporte de red que contenga los siguientes productos y servicios, el enlace principal con su torre o mástil para el transporte de internet; sistema Wi-Fi para la distribución del internet; su red de cómputo; aplicaciones, un sistema de energía renovable de paneles solares; y una guía para el soporte y mantenimiento de la red.

Actualmente la Aldea Cocolá Grande, cuenta con un instituto educativo de carreras de educación media donde se forman jóvenes que viven en la aldea y aldeas vecinas. El desarrollo de una red comunitaria de telecomunicaciones con acceso a internet contribuirá a la formación de estos jóvenes para su desarrollo académico y profesionalismo, y se esperan obtendrán los siguientes beneficios.

- Acceso a una conectividad a internet
- Acceso a plataformas de conocimiento, plataformas *e-learning*
- Acceso a plataformas de salud, atención médica a distancia
- Cursos de capacitación y de productividad empresarial para las *pymes*

- Oportunidad de desarrollar la igualdad de género y empoderamiento de la mujer

La pandemia COVID-19 dejó en evidencia las carencias de conectividad a internet en las áreas rurales y además ayudó indirectamente a promocionar la importancia de las redes de telecomunicaciones comunitarias y su infraestructura, en esas áreas rurales distantes y de difícil acceso, donde el acceso a la banda ancha digital serviría como un motor de, la economía, la salud la educación, y el desarrollo social de la Aldea Cocolá Grande.

La inversión en infraestructura de redes de telecomunicaciones comunitarias, impactan directamente sobre los Objetivos de Desarrollo Sostenibles (ODS), como, por ejemplo, salir del ciclo de la pobreza, brindar oportunidades de trabajo, acceso gratuito al conocimiento, alcanzar la igualdad entre los géneros y empoderar a todas las mujeres y niñas, garantizar una vida saludable y promover el bienestar para todos y todas en todas las edades; entre otros.

5. OBJETIVOS

5.1. General

Diseño de la infraestructura de una red comunitaria de comunicaciones con acceso a la banda ancha, para el uso del internet de la comunidad de Cocolá Grande.

5.2. Específicos

- Analizar los estándares de redes de telecomunicaciones inalámbricas para acceso y distribución
- Describir las características principales de una red inalámbrica comunitaria.
- Diseñar la arquitectura e infraestructura de una red inalámbrica comunitaria.
- Calcular el costo de inversión para la implementación de una red inalámbrica comunitaria en la Aldea Cocolá Grande.

6. NECESIDADES POR CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN

En la comunidad de Cocolá Grande como otras comunidades rurales no hay servicios de internet, las causas casi todas tienen un común denominador: difícil acceso; topología accidentada; poca población; pobreza; sin electricidad; debido a estos problemas los operadores de telecomunicaciones no han invertido en el despliegue de redes de telecomunicaciones, para la prestación de servicios digitales tales, como, el internet y la telefonía. Por otro lado, no existen políticas públicas regulatorias ni iniciativas de ley o programas que promuevan el rápido, y fácil despliegue de una red comunitaria.

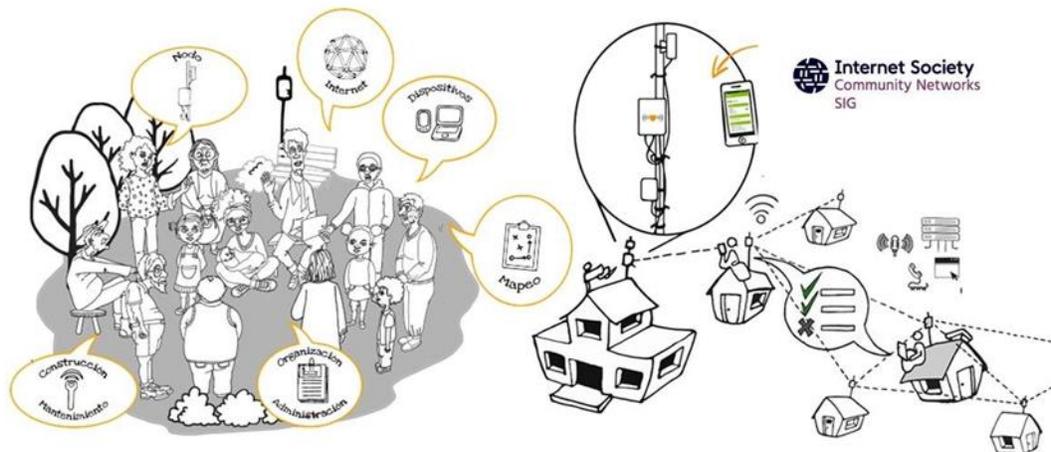
Esta investigación pretende plantear un plan con objetivos estratégicos; objetivos tácticos; y objetivos operacionales para el despliegue de una red comunitaria, que pueda acceder a la banda ancha (Internet); inalámbricamente con un enlace de *backhaul* punto a punto para el transporte, y que a su vez pueda distribuir el internet para su uso dentro del área geográfica de Cocolá Grande. Con tecnologías inalámbricas punto multipunto, propietarias; o con estándar Wi-Fi; o un estándar LTE 4G.

La investigación tiene como objetivos adicionales crear campañas de sensibilización a la población destacando los beneficios del uso del internet como:

- Acceso a los servicios públicos
- Formación académica y técnica
- Motor para el desarrollo de actividades económicas de la micro y pequeña empresa

- Herramienta para acceder al mercado laboral
- Ahora que se puso de moda el acceso a la telemedicina por eso del COVID-19.

Figura 3. **Crecimiento de internet**



Fuente: Internet Society (2018) *Crecimiento de Internet*. Consultado el 09 de mayo de 2021. Recuperado de <https://www.internetsociety.org>.

- Esquema de solución

Esta investigación pretende plantear un plan con objetivos estratégicos; objetivos tácticos; y objetivos operacionales para el despliegue de una red de comunicaciones comunitaria en la Aldea Cocolá Grande; alineado al objetivo general y objetivos específicos de la presente investigación.

- Primera fase

En primer plano se diseñará la red comunitaria de telecomunicaciones para Aldea Cocolá Grande, esto incluye las siguientes actividades o tareas:

- Realizar un estudio de campo en la Aldea Cocolá Grande para identificar un posible punto de acceso a un operador de telecomunicaciones, o un proveedor de servicios de internet, por sus siglas en inglés (ISP, *internet service provider*).
- Determinar un punto en la Aldea Cocolá Grande para poder instalar la infraestructura de soporte:
 - Torre atirantada.
 - Sistema de tierras.
 - Suministro de energía eléctrica con sistema de paneles solares existente, (verificar si soporta la carga de los equipos).
 - Ubicación para el cuarto de equipos, en el único Instituto de educación media que existe en Cocolá Grande, municipio de Santa Eulalia.

- Segunda fase

- Hacer un cálculo de radio enlace punto a punto con el programa Pathloss, para determinar el presupuesto de pérdidas, y ganancias (nivel esperado de radioenlace y disponibilidad).

- Hacer un cálculo de radio enlace punto multipunto para determinar la cobertura de radiación para la prestación de los servicios de internet en la Aldea Cocolá Grande.
- Tercera fase
 - Determinar las tecnologías a utilizar para el enlace inalámbrico de transporte punto a punto, y el enlace inalámbrico de acceso y distribución punto multipunto y hacer un diseño final de la arquitectura de la red propuesta.
 - Hacer una ingeniería de instalaciones, que sirva de guía para el personal de instalaciones en campo.
 - Diseñar una guía de reporte final que detalle: inventario instalado; parámetros técnicos de medición; fotografías de instalaciones. Personal encargado de recibir y responsable de la red.
 - Describir la forma en que se piensa mantener monitoreada la red para su funcionamiento y atención a fallas. Protocolo de gestión, reportes, soporte de *Noc*, y otros (podría hacerse un enlace alterno *two way* para darle soporte técnico a los guardianes de la red).
- Cuarta fase
 - Calcula financiero del esquema de solución propuesto, que incluya todos los componentes, equipos y materiales, de la red inalámbrica punto a punto y punto multipunto.

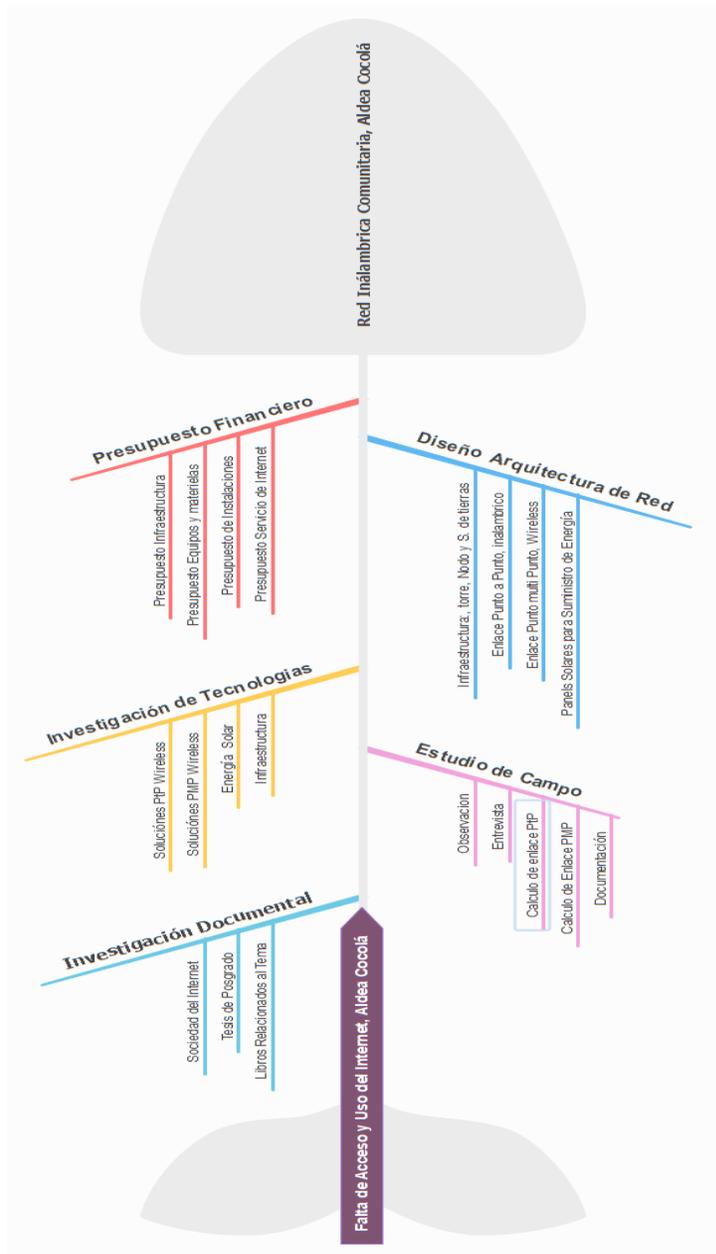
- Cálculo financiero de las instalaciones.
- Cálculo financiero del servicio de internet a proveerse según la capacidad que se determine de internet.

Este estudio adicionalmente aportará sugerencia para gestionar fondos de los programas e iniciativas público privado, y de cooperación internacional en proyectos que tengan como objetivo la reducción de la brecha digital y el acceso a la banda ancha.

Para mantener en funcionamiento la red se sugiere delegar a un equipo responsable de la red comunitaria (que no sean ingenieros y expertos en redes), esto se lograría a través de un empoderamiento (entrenamiento) a este equipo a los cuales designaremos los guardianes de la red (se toma de referencia que en los sitios distantes son los guardianes de los sitios lo que ayudan al personal de O&M en temas de mantenimiento y resolución de fallas) en habilidades como:

- Entender las tecnologías usadas
- Técnicas y capacidades que se requieren para mantener y expandir la red
- Atención y resolución de fallas
- Sensibilización de los beneficios del uso del internet. Para que los guardianes de la red lo difundan a toda la población de Cocolá Grande.

Figura 4. Diagrama Ishikawa

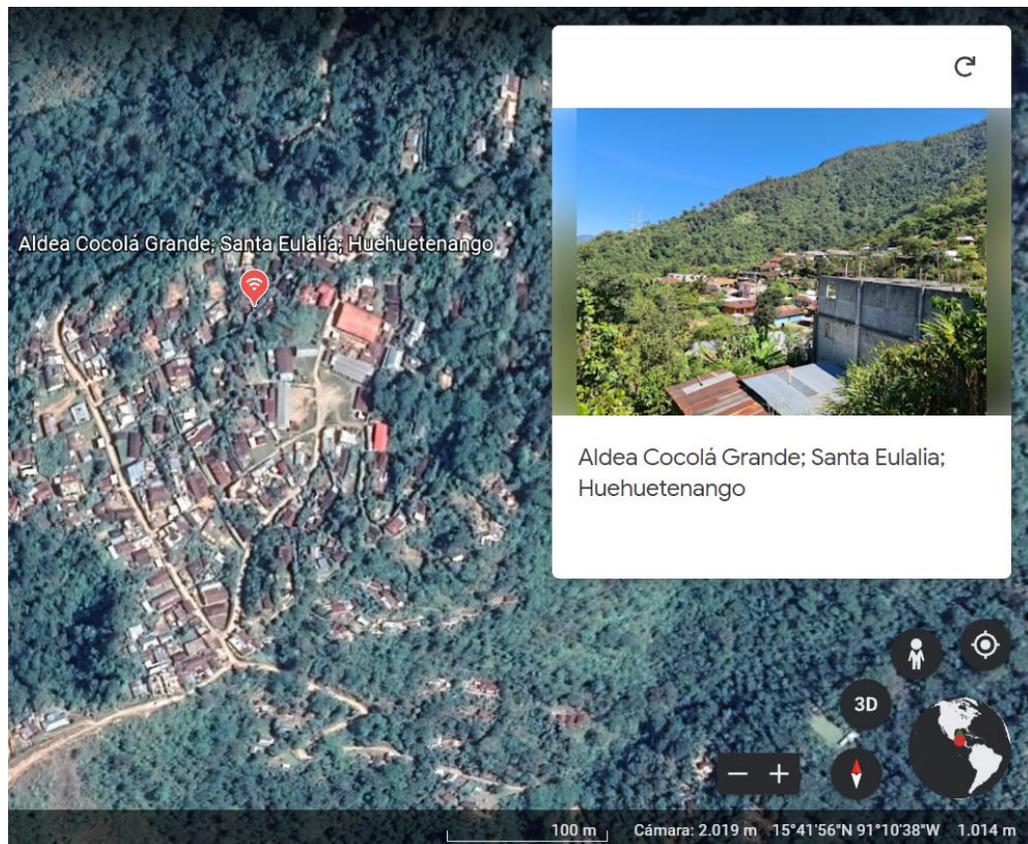


Fuente: elaboración propia, empleando EdrawMind.

- Localización del área de estudio

Entre las montañas de Huehuetenango se encuentra ubicada la Aldea Cocolá Grande, una comunidad del municipio de Santa Eulalia, a aproximadamente 18 horas de la ciudad capital.

Figura 5. **Ubicación coordenadas Aldea Cocolá**



Fuente: Google Earth Pro (2021). Consultado el 31 de mayo de 2021. Recuperado de Landsat 8 USGS – NASA.

En esta comunidad padres e hijos trabajan agricultura de subsistencia, cultivando granos básicos como maíz y frijol, y algunas pequeñas plantaciones de cardamomo y café que deben llevar hasta la cabecera por un camino de terracería de 87 kilómetros. En Cocolá Grande las familias sobreviven con un ingreso mensual de aproximadamente Q. 700.00 al mes, debido a la falta de fuentes de trabajo, difícil acceso y otras carencias de desarrollo.

En la actualidad la aldea tiene una población aproximada de mil setecientas personas, información suministrada por el Alcalde Comunitario.

La aldea cuenta con una escuela para educación primaria; y un instituto de educación diversificada, cuenta con un COCODE, un Alcalde Comunitario, Un claustro de maestros, un centro de salud y algunos negocios medianos y pequeños que venden variedad de productos de primera necesidad. Además, cuenta con una mini agencia de Banrural, una iglesia católica y una iglesia evangélica.

7. MARCO TEÓRICO

7.1. Redes inalámbricas

Las redes inalámbricas han jugado un papel crucial para la comunicación y movilidad en los últimos 50 años, gracias a ellas los diferentes servicios de comunicación han evolucionado de acuerdo a la demanda de los usuarios, empezando por los sistemas inalámbricos convencionales de dos vías, de los años setenta, hasta las diferentes generaciones inalámbricas actuales que hacen posible las comunicaciones de muchas formas.

7.1.1. Redes Inalámbricas de Acceso RAN

Las sociedades actuales experimentan la era digital, en la era donde se pasa de una generación de acceso de tecnología inalámbrica a otra en lapsos de 5 a 8 años, los operadores de telefonía celular enfrentan un reto grande, ya que sus redes tienen sistemas inalámbricos de acceso de varios sabores, como la 2G, 3G o 4G y 5G.

La creciente demanda de sistemas de comunicación inalámbrica más rápidos y más eficientes se debe al creciente uso del internet; los avances tecnológicos de la comunicación e información; y todas las aplicaciones que hacen posible la nueva forma de vivir en esta era digital.

Los comunes denominadores de demanda de comunicación inalámbrica son: mayor velocidad, mayor movilidad, mayor capacidad de datos, menor

latencia, menor *jitter*, más fidelidad en aplicaciones de video y voz (juegos en línea, *streaming* y videoconferencias).

Para lograr esto las tecnologías inalámbricas han venido evolucionando algunas características inalámbricas relevantes de los productos. Fabricantes, operadores de red, clientes y organizaciones de regulación y estandarización han acordado determinar los estándares y características principales de la primera capa, capa física que utiliza características inalámbricas, y la segunda capa, capa de enlace de datos entre la capa de red y la capa física del modelo OSI.

Tabla I. Estándares RAN 3GPP

					
Año	1970 - 1980	1980 - 1990	2000- 2003	2000	2010
Ancho de Banda	30 kHz	Cada canal de 200 kHz en bloques de 25 kHz		5 - 20 MHz	5-20 MHz (hasta 40 MHz)
Frecuencia (MHz)	800- 900	850 - 1900 (GSM) 825 - 849 (CDMA)	850 - 1900	aproximadamente 800 - 2500	cubre diferentes bandas (3, 7, 20); 800, 1800 y 2600
Multiplexación	FDMA	TDMA CDMA	TDMA CDMA	WCDMA CDMA2000	OFDM, MC-CDMA, CDMA
Servicio	Sólo voz	Voz Digital, SMS, <u>roaming</u> internacional, llamada en espera, bloqueo de llamadas, identificación de llamadas, autenticación, facturación basada en los servicios prestados.	Voz, multimedia, WAP, MMS, SMS juegos móviles, acceso a correo electrónico, videoconferencia	Voz, Internet de alta velocidad, video llamadas, chat, televisión móvil, servicios multimedia, servicios de localización, correo, ...	acceso web, telefonía IP, servicios de juegos, TV alta definición y 3D, videoconferencia, computación en la nube, gestión de flujos múltiples y movimientos rápidos de terminal, DVB, ...
Velocidad (kbps)	1-2,4	14-64	115 (GPRS) 384 (EDGE)	384- 2000	100.000 en movimiento 1*10 ⁶ inmóvil
Tecnología	Analógica	Digital	Digital	Digital	Digital
Commutación	Circuitos	Circuitos	Circuitos Paquetes (datos)	Paquetes	Paquetes
Estándar	AMPS	GSM	GPRS EDGE	UMTS (WCDMA) CDMA	LTE-TDD LTE-FDD

Fuente: Riunet (2019). *Características diferentes generaciones*. Consultado el 18 de julio de 2021. Recuperado de <https://riunet.upv.es>.

7.1.2. Características fundamentales de los estándares *radio access networks*

- Frecuencia de operación

Se le denomina frecuencias de radio u operación al rango de frecuencias radioeléctricas en las que puede operar un sistema inalámbrico, generalmente una frecuencia de radio es una señal portadora de información, que tiene una potencia determinada y un ancho de banda o de canal determinado. Se mide en Hertz.

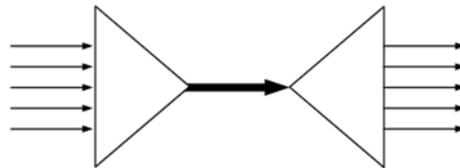
- Ancho de banda

Se le denomina ancho de banda de una señal portadora a la diferencia entre la primera armónica de la frecuencia superior y la primera armónica de la frecuencia inferior, o también conocidas como subportadoras de -3 dB o frecuencias de potencia media.

7.1.3. Tipos de multiplexación en RF

La multiplexación es un método dentro de las telecomunicaciones y las redes informáticas, en dónde se combinan diferentes señales analógicas o digitales en una misma señal a través de un medio compartido. Su objetivo se basa en compartir un recurso escaso. En la figura 6, múltiples señales de baja velocidad son multiplexadas a través de un solo canal de alta velocidad, el demultiplexor separa nuevamente las señales en forma individual

Figura 6. **Esquema de multiplexación**



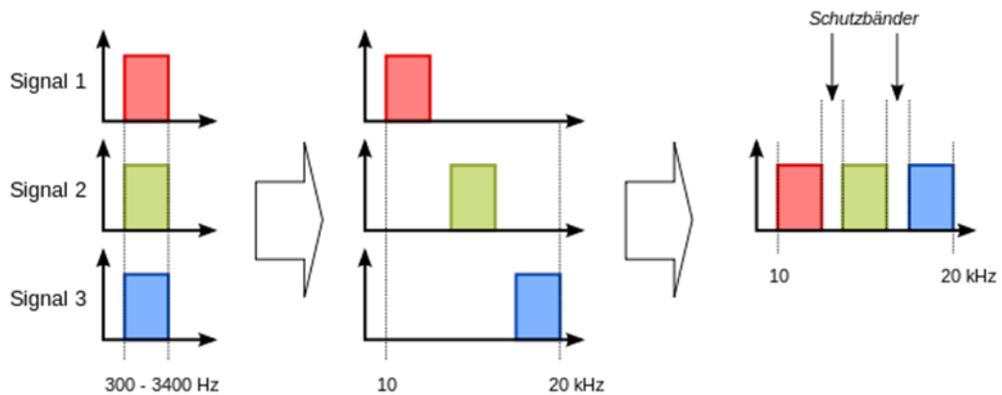
Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word.

La multiplexación en las radiocomunicaciones divide las señales de información que se transmiten a través del medio dentro del espectro radioeléctrico que se disponga.

- Acceso múltiple por división de frecuencia FDMA

Es un sistema análogo estándar, basado en el esquema de Multiplexación por División de Frecuencia (FDM), proporciona bandas diferentes de frecuencia a diferente tráfico de datos. El FDM permite que varias señales se combinen en un solo medio, enviando señales en distintas frecuencias a través del mismo, por ejemplo, por fibra óptica.

Figura 7. **Multiplexación por división de frecuencia**

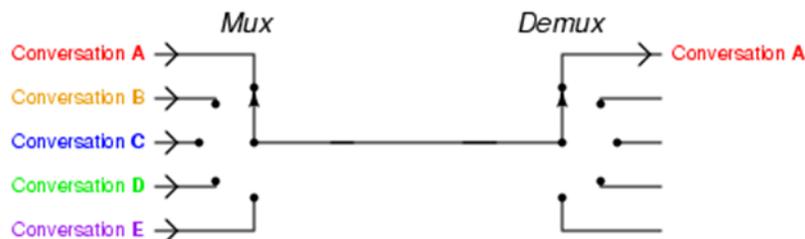


Fuente: Wikiwand (2018). Multiplexación por división de frecuencia. Consultado el 25 de julio de 2021. Recuperado de <https://www.wikiwand.com>.

- Acceso múltiple por división de tiempo TDMA

El esquema de Acceso Múltiple por División de Tiempo (TDMA) está basado en el esquema de Multiplexación por División de Tiempo (TDM). TDMA provee intervalos de tiempo diferentes a distintos transmisores en una distribución de tramas que se repiten periódicamente.

Figura 8. **Acceso múltiple por división de tiempo**



Fuente: Wikiwand (2018). Multiplexación por división de frecuencia. Consultado el 25 de julio de 2021. Recuperado de <https://www.wikiwand.com>.

La Multiplexación por División de Tiempo (TDM) es una tecnología digital que se emplea en el tiempo, para separar el diferente tráfico de datos. TDM se basa en secuenciar grupos de bytes o bits de cada tráfico de entrada individual, uno tras otro, de tal manera que puedan conectarse con el receptor correspondiente.

- Acceso múltiple por división de código CDMA

Se basa en un amplio espectro, es decir, que se utiliza un ancho de banda de canal de radio más amplio que el que requiere la velocidad de datos y varias señales de mensaje se transmiten de forma simultánea en una misma frecuencia portadora, utilizando distintas transmisiones de códigos.

- Acceso múltiple por división de código de banda ancha WCDMA

Es una tecnología de acceso móvil basado en varios estándares de las redes de telecomunicaciones móviles de 3ra. generación (3G). Es conciliable con servicios celulares tradicionales de texto, voz y MMS, también permite enviar datos a altas velocidades, en el cual los operadores móviles pueden ofrecer servicios de mayor ancho de banda, incluyendo el *streaming* y el acceso a Internet de banda ancha.

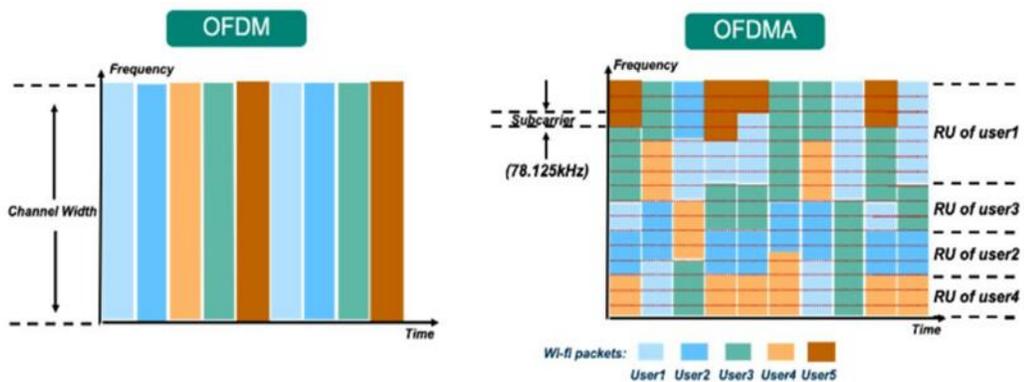
- Acceso múltiple por división de frecuencia ortogonal OFDMA

Para Ergen (2009):

Es un método especializado de multiplexación por división de frecuencia (FDM), es utilizada para que varios usuarios compartan el espectro de un canal para aplicaciones a una baja velocidad. El OFDM es un esquema popular para la comunicación digital de banda ancha, utilizada en comunicaciones móviles 4G / 5G.

Las frecuencias de las subportadoras se seleccionan de modo que sean ortogonales entre sí, es decir, que se elimina la diafonía entre los subcanales. Esto optimiza el diseño tanto del receptor como del transmisor. A diferencia del FDM convencional, no es necesario para cada subcanal un filtro separado. (p. 109)

Figura 9. **Diferencia entre OFDMA y MU MIMO**



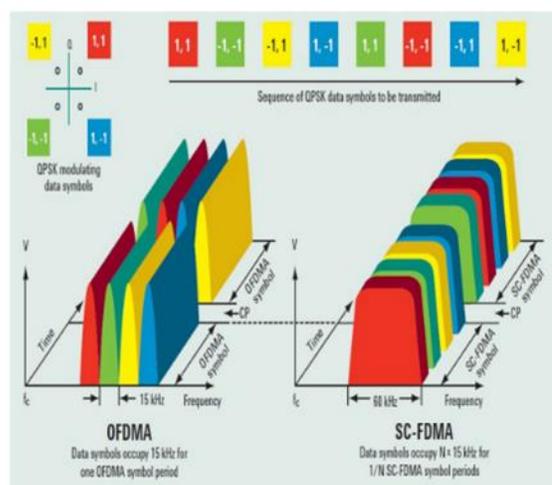
Fuente: Forum Huawei (2015). *OFDM y OFDMA*. Consultado el 28 de julio de 2021.

Recuperado de forum.huawei.com.

- Acceso múltiple por división de frecuencia con una única portadora SC-FDMA; (4G)

Es un esquema de acceso múltiple que utiliza modulación de portadora única, multiplexación frecuencia ortogonal y ecualización en el dominio frecuencial. Al igual que otros esquemas de acceso múltiple, como FDMA, TDMA, CDMA u OFDMA, asigna una cantidad distinta de subportadoras a los usuarios para asegurar la calidad de servicio de acuerdo al ancho de banda individual. Es utilizado para la transmisión de datos de alta velocidad de telefonía móvil LTE. (3GPP, 1998, párr. 10)

Figura 10. **SC-FDMA in the LTE**



Fuente: Forum Huawei (2020). *SC-FDMA in the LTE*. Consultado el 28 de julio de 2021.

Recuperado de forum.huawei.com.

7.1.4. Modulación digital

“En electrónica y telecomunicaciones, la modulación es el proceso de variar una o más propiedades de una forma de onda periódica, llamada señal portadora, con una señal separada llamada señal de modulación que típicamente contiene información para ser transmitida” (Arenas, 2018, p. 30)

Figura 11. Modulación digital



Fuente: SemanticScholar (2013). *Modulaciones digitales*. Consultado el 28 de julio de 2021.

Recuperado de www.semantic scholar.org.

En la modulación digital, una señal portadora analógica se modula mediante una señal discreta. Los métodos de modulación digital pueden considerarse conversión de digital a analógico y la correspondiente demodulación o detección como conversión de analógico a digital. Los cambios en la señal portadora se eligen entre un número finito de M símbolos alternativos.

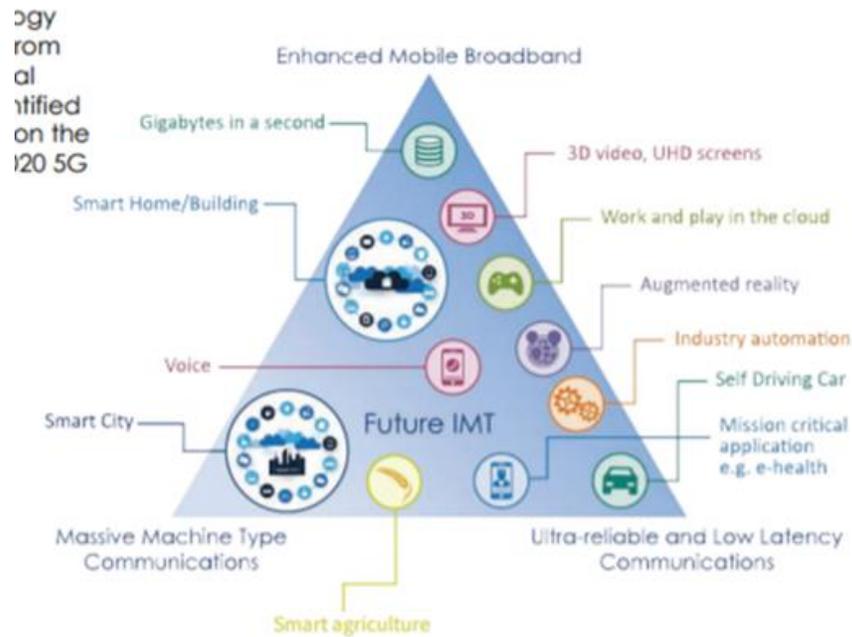
La modulación digital es la técnica para trasladar los paquetes de bits unos y cero digitales a símbolos analógicos que representan esos paquetes o grupos

de bits, en la figura 15, por ejemplo, una modulación de 4PSK o QPSK, se interpreta como cuatro símbolos analógicos diferentes, donde cada símbolo puede contener dos bits combinados de un uno y un cero. Así entonces una modulación de 1024QAM, o constelación de 1024QAM, contiene 1024 códigos analógicos, que a su vez cada código contiene un paquete de 10 bits, para poder ser transmitido al aire.

7.1.5. Velocidad demandada de internet

Si algo tenemos que agradecerle a la pandemia COVID-19, es la promoción indirecta de la importancia de las tecnologías de la comunicación e información, y la importancia de toda la infraestructura y arquitecturas de red de telecomunicaciones que hacen posible el Internet. El confinamiento obligado, trajo consigo mayor tiempo de uso del internet y mayor demanda del volumen de internet. Las aplicaciones que más demanda volumen de internet son: Video en 3D, y televisores ultra alta definición, teletrabajo, juegos en línea y uso de la nube, realidad aumentada y realidad virtual.

Figura 12. **Aplicaciones vs velocidad de internet**



Fuente: 3GPP (2019). *Velocidad de Demanda Internet*. Consultado el 29 de julio de 2021.
Recuperado de www.3GPP.com.

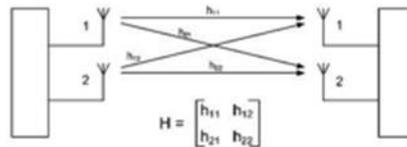
7.1.6. Arreglo de antenas (MIMO)

Mimo es un esquema de comunicaciones inalámbricas de múltiples entradas y múltiples salidas, MIMO, es un método para multiplicar la capacidad de un enlace de radio, con transmisión múltiple y la recepción de las antenas para explotar la propagación multi trayecto, y así conseguir la mejor recepción de la información del lado del receptor.

Figura 13. **Multiplexación espacial MIMO**

Spatial Multiplexing

- Not intended to make the transmission more robust
- Increases the data rate
- Data divided into separate streams
- Streams are transmitted independently via separate antennas



- If Matrix H is known, cross components can be calculated at the receiver
- The receiver can perform a channel estimation

Fuente: Gokhan (2015). *Spatial Multiplexing MIMO*.

Para aprovechar la capacidad de rendimiento adicional, MIMO utiliza varios conjuntos de antenas. En muchos sistemas MIMO, utilizan dos antenas, se pueden emplear más antenas y esto aumenta el rendimiento. En cualquier circunstancia, para la multiplexación espacial MIMO, el total de antenas de recepción debe ser igual o superior al total de antenas de transmisión.

7.1.7. **Redes inalámbricas LAN**

Es una red inalámbrica informática, la cual conecta dispositivos mediante comunicación inalámbrica, de esta manera forma una red de área local (LAN), esto permite a los usuarios movilidad dentro del área permanecer conectados a la red a través de una puerta de enlace. (WNDW, 2013, pág. 127)

Figura 14. **Radio access networks**



Fuente: Xiboard (2021). *Enlaces inalámbricos punto multipunto*. Consultado el 01 de agosto de 2021. Recuperado de: <http://xiboard.com.ve/enlaces>.

“Las redes comunitarias son una forma de cerrar la brecha de conectividad, las redes comunitarias ocurren cuando las personas se unen para construir y mantener la infraestructura necesaria para la conexión a Internet. Internet por la gente, para la gente” (ISOC, 2021, p. 1).

7.1.8. **Arquitectura red LAN inalámbrica**

Todos los componentes que pueden conectarse a un medio inalámbrico en una red se denominan estaciones base, Todas las estaciones base están equipadas con controladores de interfaz de red inalámbrica. Las estaciones inalámbricas se dividen en dos categorías: Puntos de Acceso Inalámbricos (WAP) y clientes o CPE (*Customer Provided Equipment*).

Los WAP son estaciones base para la red inalámbrica. Transmiten y reciben radiofrecuencias para que los dispositivos de los clientes se puedan comunicar vía radio. Los clientes inalámbricos pueden ser dispositivos móviles como computadoras portátiles, asistentes digitales personales, teléfonos VOIP, teléfonos inteligentes, dispositivos no portátiles como computadoras de escritorio, impresoras y estaciones de trabajo.

Las LAN inalámbricas son las redes informáticas más utilizadas en todo el mundo, estas se denominan comúnmente como Wi-Fi, que es una marca comercial perteneciente a *Wi-Fi Alliance*. Estas redes conectan con un enrutador inalámbrico al internet las computadoras portátiles, impresoras, teléfonos inteligentes, televisores web y dispositivos de juego.

7.1.9. Estándar Wi-Fi

El estándar Wi-Fi definitivamente a revolucionado la forma de conectarse al internet, no existe casa, negocio, pequeño mediano o grande, organización que no utilice los sistemas Wi-Fi 802.11 para acceso a una conexión a internet, estas tecnologías que aparecieron en el año 1997 han venido evolucionando desde el estándar Wi-Fi 802.11 a las actuales generaciones del 2021 de Wi-Fi 6, donde lo crucial es el flujo de información y la mínima latencia para aplicaciones, como videojuego, videoconferencias, *streaming* de video y música, entre otros. Millones de dispositivos en todo el mundo utilizan un punto de acceso a Wi-Fi para poder lograr un punto de acceso y utilizar el internet.

Los protocolos Wi-Fi en sus diferentes versiones son la base para todos los productos de redes inalámbricas que utilizan la marca Wi-Fi, tanto *access point*, como dispositivos remotos, y son estos los protocolos de redes informáticas inalámbricas más utilizados en el mundo. El estándar IEEE 802.11 se utiliza en

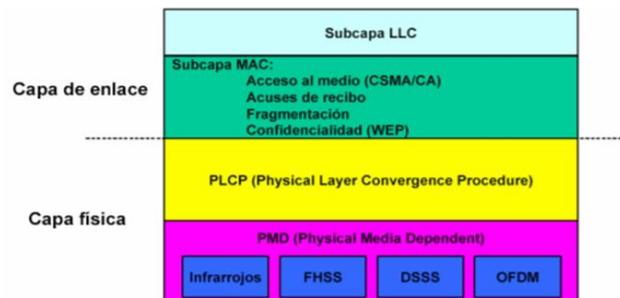
la gran mayoría de las redes domésticas, de oficina, Industriales, redes IOT en diferentes aplicaciones, que permite a las computadoras portátiles, impresoras, teléfonos inteligentes y dispositivos IOT industriales, se puedan conectar entre sí y acceder a Internet inalámbricamente.

7.1.10. Estructura capas Wi-Fi

IEEE 802.11 es parte del conjunto IEEE 802 de estándares técnicos de red de área local (LAN). Especifica el conjunto de protocolos de control de acceso al medio (MAC) y de capa física (PHY) para implementar la comunicación informática de la red de área local inalámbrica (WLAN). (WNDW, 2013, p. 130)

El estándar IEEE 802.11 se divide en dos capas principales: la capa dos del modelo OSI, MAC (*media access control*) y la capa física 1 del modelo OSI o PHY. Estas capas permiten hacer una división funcional del estándar que permite que un solo protocolo de datos pueda utilizarse con diferentes métodos de transmisión.

Figura 15. Estructura de capas Wi-Fi



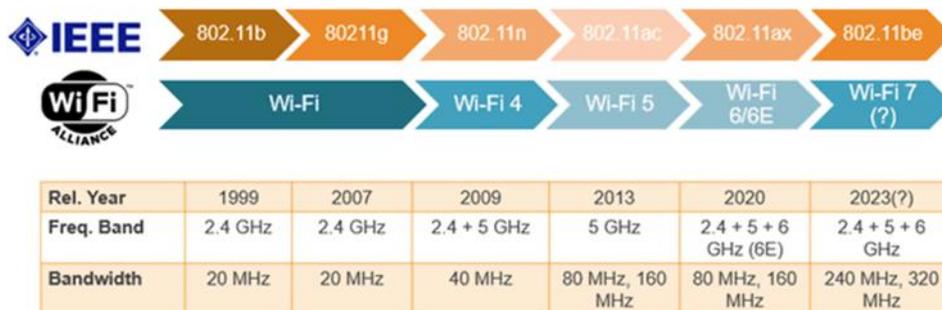
Fuente: Forum Huawei (2021). *Desarrollo y Evolución del estándar IEEE 802.11* Consultado el 07 de agosto de 2021. Recuperado de <https://forum.huawei.com>.

7.1.11. El roadmap de Wi-Fi

Durante dos décadas, Wi-Fi ha cambiado la forma de comunicación. *Wi-Fi Alliance*, la red mundial de empresas que desarrollan e implementan Wi-Fi, se fundó en 1999 para garantizar la conformidad e interoperabilidad de los productos Wi-Fi. Los miembros de *Wi-Fi Alliance* participan activamente en el desarrollo del estándar IEEE 802.11 mediante la presentación de propuestas de estándares de reuniones para características técnicas en cada grupo de tareas.

Organizaciones que regulan y promueven el Estándar WI-FI: IEEE y *Wi-Fi Alliance*.

Figura 16. **Roadmap-Wi-Fi**



Fuente: LitePoint (2020). *Background on Wi-Fi Standards*. Consultado el 07 de agosto de 2021.

Recuperado de <https://www.litepoint.com>.

7.1.12. La familia de protocolos WI-FI

Las tecnologías Wi-Fi se utilizan para una gama cada vez mayor de aplicaciones y servicios con una variedad de requisitos de QoS. Todos estos se benefician de un mayor rendimiento y una menor latencia. Las aplicaciones y servicios hoy día que dependen de interacciones en tiempo real a través de audio y video, como son: Voz sobre IP (VoIP), juegos en línea, videoconferencias, transmisiones de televisión en vivo, Realidad Aumentada AR y Realidad Virtual VR, tienen mayores demandas al internet y también requieren un alto rendimiento instantáneo para ofrecer una experiencia de calidad.

Tabla II. Características Wi-Fi

Technologies	Indoor/ Outdoor	Bitrate	Freq. Bands	License	Bandwidth	Modulation	MIMO	Meaning	Year
IEEE802.11	20 m/ 100 m	2Mbps	2.4 GHz	Unlicensed	20 MHz	FHSS and DSS	-	Standard Wi-Fi	1997
IEEE802.11b	35 m/140 m	11 Mbps	2.4 GHz	Unlicensed	20 MHz	HR-DSSS	-		1999
IEEE802.11a	35 m/119 m	54 Mbps	5 GHz	Unlicensed	20 MHz	OFDM	-		1999
IEEE802.11g	45 m/90 m	54 Mbps	2.4 GHz	Unlicensed	22 MHz	OFDM/DSS S/ CCK	-	Wi-Fi 3	2003
IEEE802.11n	70 m/250 m	600 Mbps	2.4/ 5 GHz	Unlicensed	20 MHz/ 40 MHz	OFDM	4 x 4	Wi-Fi 4	2009
IEEE802.11ac wave	70 m/250 m	7000 Mbps	5 GHz	Unlicensed	80 MHz	64-QAM	10 x 10	Wi-Fi 5	2014
IEEE802.11ad	10 m/n/a	7000 Mbps	60 GHz	Unlicensed	2.16 MHz	Single Carrier/ OFDM	MU_MIMO 8X8	Milimeter wave	2010
IEEE802.11ac wave2	70 m/250 m	7000 Mbps	5 GHz	Unlicensed	80 MHz 160 MHz	256-QAM	Multi User (MU)		2014
IEEE802.11af	1 km	26.7 Mbps	54-790 MHz		6, 7, 8 MHz	BPSK to 256QAM		Wi-Fi Halow	2017
IEEE802.11ah	1 km	40 Mbps	900 MHz		1, 2, 4, 8, 16 MHz	BPSK to 256QAM		Wi-Fi Halow	2017
IEEE802.11ax		10Gbps	2,4 - 5 GHz		20, 40, 80, 160 (80-80) MHz	1024 QAM		Wi-Fi 6	2019

Fuente: elaboración propia, con datos obtenidos de WNDW (2013), *Redes inalámbricas en los países en desarrollo*.

7.1.13. Versión estándar Wi-Fi 5 o IEEE 802.11ac

IEEE 802.11ac se introdujo en el año 2014, para mejorar aún más la velocidad de las LAN inalámbricas, así como la velocidad de enlace entre teléfonos inteligentes, televisores con Wi-Fi, consolas de juegos y una gran cantidad de otros dispositivos electrónicos habilitados para Wi-Fi. IEEE 802.11ac Wi-Fi proporcionó lo que se denomina *very high throughput*, velocidades de transferencia de datos VHT de un mínimo de 1 Gbps y velocidades máximas de 7 Gbps.

Tabla III. Características de IEE 802.11ac

Características de IEEE 802.11AC GIGABIT WI-FI	
Banda de frecuencia	Banda ISM (sin licencia) de 5,8 GHz
Velocidad máxima de datos	6,93 Gbps
Ancho de banda de transmisión	20, 40 y 80 MHz 160 y 80 + 80 MHz opcional
Formatos de modulación	BPSK, QPSK, 16-QAM 256-QAM opcional
Codificación FEC	Convolutacional o LPDC (opcional) con tasas de codificación de $\frac{1}{2}$ $\frac{2}{3}$ $\frac{3}{4}$ $\frac{5}{6}$
MIMO	MIMO de uno y varios usuarios con hasta 8 flujos especiales
Formación de haces	Opcional

Fuente: elaboración propia, con datos obtenidos de WIFI Alliance (2021). *Características de IEE 802.11ac.*

- Características relevantes

Gigabit Wi-Fi utiliza una serie de técnicas que se han utilizado dentro de los estándares IEEE 802.11ac, anteriores y se basa en estas tecnologías, al tiempo

que agrega algunas técnicas nuevas para garantizar que se pueda alcanzar el rendimiento requerido.

- OFDM: el estándar IEEE 802.11ac utiliza OFDM que se ha utilizado con mucho éxito en formas anteriores de 802.11. El uso de OFDM es particularmente aplicable a la transmisión de datos de banda ancha, ya que combate algunos de los problemas con el desvanecimiento selectivo.
- MIMO: se requiere una eficiencia espectral de 7.5 bps / Hz. Dentro del espacio de RF disponible Para lograr esto, se requiere MIMO, y en el caso de IEEE 802.11ac Wi-Fi, se implementa una forma conocida como *Multi-User* MIMO, o MU MIMO.
- MU MIMO permite la increíble proeza de transmisión simultánea de diferentes tramas de datos a diferentes clientes. El uso de MU MIMO requiere que el equipo sea capaz de determinar la presencia espacial de los diferentes usuarios remotos.

Figura 17. **MU-MIMO**



Fuente: NetGear (2020). *Tecnología MIMO*. Consultado el 08 de agosto de 2021. Recuperado de <https://www.netgear.es>.

- Codificación de corrección de errores: con el avance de la tecnología, la fabricación de chips ha permitido a los diseñadores aprovechar los niveles adicionales de potencia de procesamiento para corrección de errores por codificación, que son más sensibles en detecciones más finas de la señal obtenidas,
- Incremento del ancho de banda del canal: el estándar 802.11ac utiliza anchos de banda de canal de hasta 80 MHz como estándar, con opciones de 160 MHz o dos bloques de 80 MHz FDD. Para lograr esto, es necesario adaptar las capacidades de sintonización automática de radio para que los canales de mayor ancho de banda solo se utilicen cuando sea necesario para conservar el espectro.

7.1.14. Versión estándar WI-Fi 6

IEEE 802.11ax también conocido como Wi-Fi 6 es un nuevo estándar en la serie IEEE 802.11. Ha sido diseñado para proporcionar algunas mejoras significativas sobre 802.11ac, especialmente en términos de despliegue en áreas densas, eficiencia espectral y acceso de usuarios. El nuevo 802.11ax aún se encuentra en sus primeras etapas de desarrollo. En cuanto a las especificaciones y los parámetros, a continuación, se proporciona una tabla de algunos parámetros clave.

Tabla IV. **Resumen de especificaciones Wi-Fi 6**

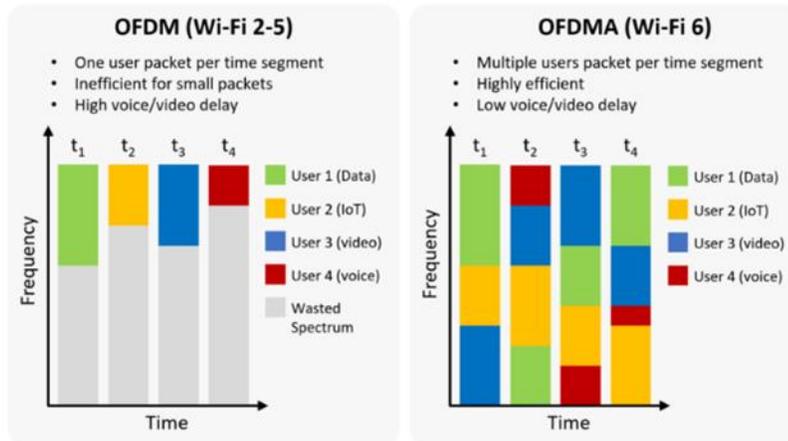
Resumen de especificaciones IEEE 802, 11AX, WI-FI 6	
PARÁMETRO	DETALLES
Bandas de frecuencia	5Ghz, 6GHz para Wi-Fi ya que el espectro se asigna globalmente
Anchos de banda	20, 40, 80 MHz y opcional 160 MHz, 80+80 MHz
Tipos de modulación	BPSK, QPSK, 16QAM, 64QAM, 256QAM, 1024QAM
Tamaños FFT	256, 512, 1024, 2048 Espacio de subportadora 78,125 kHz
Duración OFDM	12,8 us+ 0,8 / 1,6 / 3,2 us CP
Tecnología multiusuario	OFDMA+MU-MIMO (UL+DL) con hasta 8 flujos espaciales
Tasa de datos máxima	600,4 Mbps (canal de 80MHz y 1SS*) 9607,8 Mbps (canal de 160 MHz y 8SS*)

Fuente: elaboración propia, con datos obtenidos de WIFI Alliance (2021). *Características de IEE 802.11ac.*

- **Características innovadoras de WI-FI 6**

Se dio un gran paso adelante en el desarrollo del acceso inalámbrico mediante la última generación Wi-Fi 6 (802.11ax). Con una serie de innovaciones técnicas, Wi-Fi 6 establece un nuevo estándar en términos de velocidad, confiabilidad y accesibilidad. En particular, la red Wi-Fi 6 (802.11ax) utiliza tecnologías como OFDMA y UL MU-MIMO para garantizar que estos servicios sean más confiables que antes. Además de una mayor capacidad de acceso, la red puede equilibrar el ancho de banda de cada usuario. (Emmerling, 2020, pp. 1-2)

Figura 18. **Comparación OFDM Y OFDMA**



Fuente: Juve Patent (2020). *Wi-Fi 6 Innovations*. Consultado el 15 de agosto de 2021.

Recuperado de: <https://www.juve-patent.com/>.

OFDMA con 802.11ax aumenta la capacidad del sistema al segmentar los canales en subcanales más pequeños que se superponen en frecuencia. 802.11ax permite que diferentes dispositivos usen secciones del canal, es decir, un número de portadoras OFDM individuales y esto permite que ocurran transmisiones paralelas simultáneas. A su vez, esto hace que la red Wi-Fi sea más eficiente porque los dispositivos no tienen que competir entre sí por un intervalo de tiempo para todo el canal.

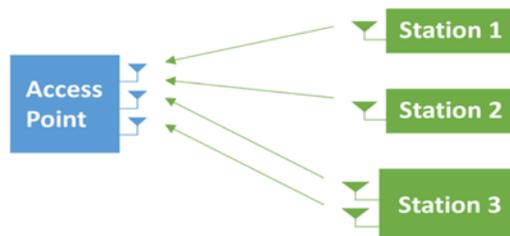
- **Tecnología MU-MIMO**

La tecnología MU-MIMO utiliza multiplexación espacial con tráfico de datos independientes en el mismo ancho de banda, donde cada tráfico de datos es transmitido por múltiples antenas con una fase definida que conduce a una interferencia constructiva en un punto particular del espacio, Permite al AP intercambiar datos con múltiples terminales al mismo tiempo. Aquí se hace una

distinción entre MU-MIMO de enlace descendente (DL MU-MIMO) y MIMO de enlace ascendente (UL MU-MIMO).

Como innovación significativa con respecto a los estándares anteriores, Wi-Fi 6 también es compatible con la tecnología UL MU-MIMO, en la que los datos se trasladan en múltiples tráfico espaciales mediante el uso de la tecnología de múltiples antenas del receptor y el transmisor.

Figura 19. **UpLink MU-MIMO múltiples flujos espaciales**



Fuente: Juve Patent (2020). *Wi-Fi 6 Innovations*. Consultado el 15 de agosto de 2021.

Recuperado de: <https://www.juve-patent.com/>.

- OFDMA y MU-MIMO

Aunque 802.11ax permite que OFDMA y MU-MIMO funcionen al mismo tiempo, estas tecnologías son diferentes y pueden funcionar de forma independiente entre sí. OFDMA permite a varios usuarios subdividir el ancho de banda de frecuencia de un segmento de tiempo para mejorar la eficiencia de concurrencia. MU-MIMO permite que varios usuarios utilicen diferentes flujos espaciales para aumentar el rendimiento. Por lo tanto, son complementarios y podrían utilizarse en función del tipo de aplicación.

Figura 20. **Comparación de OFDMA y MU-MIMO**



Fuente: Fuente: Juve Patent (2020). *Wi-Fi 6 Innovations*. Consultado el 15 de agosto de 2021.
Recuperado de: <https://www.juve-patent.com>.

- **Ajuste de potencia automático**

Una ventaja adicional de usar OFDMA es que los enrutadores Wi-Fi 6 pueden ajustar dinámicamente la potencia para cada dispositivo, dándole más potencia a los dispositivos más distantes y menos a los más cercanos. En el enlace ascendente, el enrutador 802.11ax puede agrupar las transmisiones de varios dispositivos y esto puede proporcionar un aumento de seis veces la velocidad en las redes existentes.

- **Coloración**

Uno de los problemas con el funcionamiento de varios puntos de acceso Wi-Fi en una proximidad cercana, es que los diferentes puntos de acceso Wi-Fi se interfieren entre sí. 802.11ax utiliza una técnica llamada coloración BSS para permitir que varios puntos de acceso Wi-Fi operen en el mismo canal y decidir de

manera inteligente si pueden transmitir al mismo tiempo. Usando tecnología de reutilización espacial, el punto de acceso tiene un identificador único de color.

Figura 21. **Modo de trabajo BBS coloración**



Fuente: Xataka (2021). *Coloración BSS*. Consultado el 15 de agosto de 2021. Recuperado de: <https://xataka.com>.

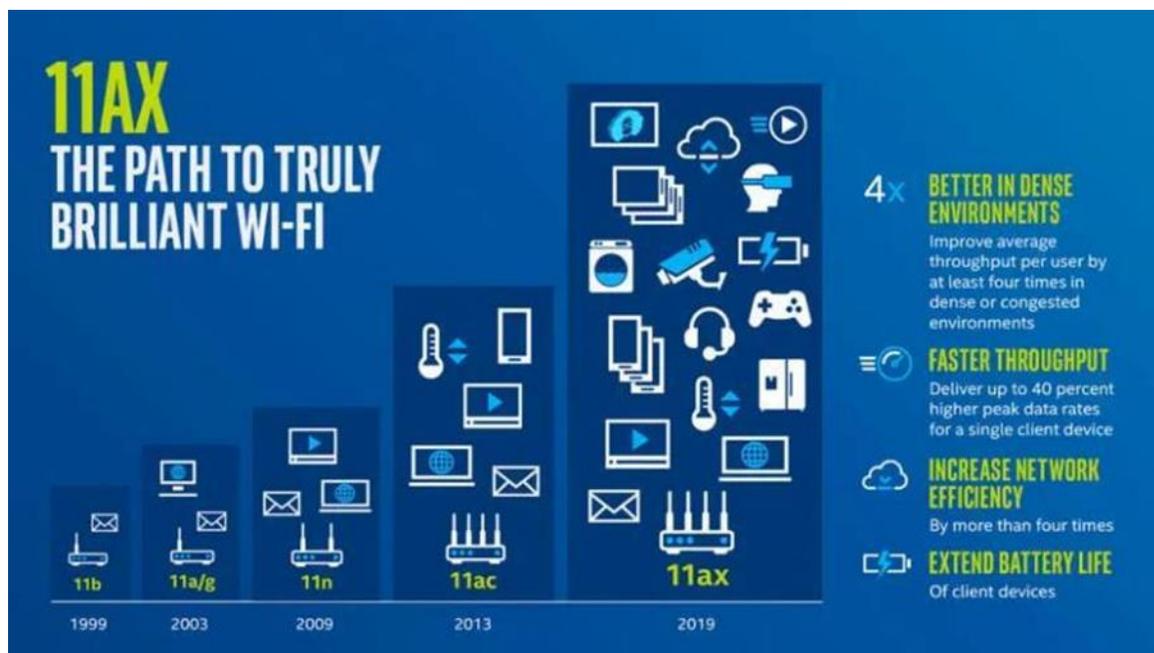
BSS Coloring es un mecanismo para marcar cada BSS (*basic service set*), que consta de un AP (*access point*) y sus clientes asociados, con un color de diferenciación.

- Tiempo de espera del dispositivo.

Uno de los problemas con el uso de Wi-Fi en dispositivos móviles es que drena el consumo de la batería. Para superar este problema, 802.11ax implementa una función llamada *target wake time*. Esto permite que la unidad de radio Wi-Fi de los dispositivos móviles, se pase al modo de suspensión, cuando no están intercambiando datos con el *access point*.

Debido a todas las anteriores innovaciones, se puede lograr un ancho de banda promedio lo suficientemente alto para varias aplicaciones a gran escala con un mayor número de terminales de acceso a Wi-Fi. Por ejemplo, las aplicaciones inalámbricas como: Diagnóstico 3D, transmisión de video 4K, realidad virtual, realidad aumentada y videoconferencia.

Figura 22. **Capacidad de acceso Wi-Fi6 (11AX)**



Fuente: Digital Trends (2019). *El estándar Wi-Fi 6*. Consultado el 15 de agosto de 2021.

Recuperado de <https://es.digitaltrends.com>.

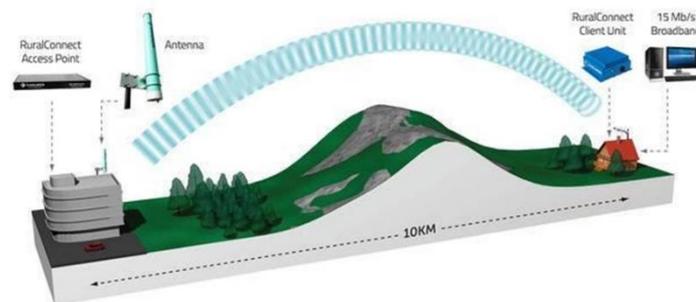
7.1.15. Versión estándar *White-Fi*

El sistema IEEE 802.11af también es llamado *White-Fi*, utiliza espacios en blanco del espectro de radiofrecuencia de los servicios televisión (TV) analógica, para frecuencias adicionales y un uso más efectivo del espectro.

802.11af gana el nombre de *White-Fi* por el hecho de que es capaz de utilizar el espectro de radio no ocupado o espacios en blanco que quedan dentro de las bandas de televisión.

Para evitar interferencias entre las altas potencias de los sistemas de Televisión analógica tradicionales ya utilizados, estos sistemas *White Fi*, deben de instalarse lo suficientemente alejado de las áreas de cobertura de los canales de televisión. En estas áreas o regiones, es posible utilizar las frecuencias de los sistemas Wi-Fi, porque los puntos de acceso Wi-Fi de baja potencia no irradian lejos y se pueden implementar de manera segura en estas áreas sin temor a causar interferencias.

Figura 23. **Tecnología *White-Fi***



Fuente: Mrunal (2014). *Microsoft's White-Fi technology*. Consultado el 18 de agosto de 2021.
Recuperado de <https://mrunal.org/>.

Este enfoque del uso del espectro radioeléctrico se está investigando cada vez más y las autoridades reguladoras están dispuestas a aplicarlo, ya que proporciona un uso más eficaz y de aprovechamiento del espectro no utilizado entre las bandas de frecuencia de la televisión analógica, más ahora que en

muchas regiones se le ha dado un apagón a la televisión analógica para dar paso a la televisión digital.

La implementación de la televisión digital, como ayer lo dejó ver la Superintendencia de Telecomunicaciones (SIT), promete que en el 2022 se dé el apagón análogo en Guatemala.

- Características del estándar *White-Fi*

Tabla V. **Características de IEEE 802.11AF *White Fi***

Características de IEEE 802.11AF <i>WHITE-FI</i>	
Característica	Descripción
Rango de frecuencia de funcionamiento	Bandas de TV de 470 a 790 MHz (Europa) y de 54 a 698 MHz (EEUU)
Ancho de banda de canal	6 MHz
Potencia de transmisión	20 dBm
Formato de modulación	BPSK
Ganancia de antena	0 dBi
Formato de señal	OFDM
Portadores OFDM	144 subportadoras OFDM para canales de ancho de banda de 6 y 8 MHz, 168 subportadoras para canales de ancho de banda de 7 MHz
Subportadoras de datos	-58 a -2, 2 a 58
Portador de CC	Índice 0
Portadores piloto	Total, de 6 índices -53, -25, -11, +11, +25, +53

Fuente: elaboración propia, con datos obtenidos de Mrunal (2014). *Microsoft's White-Fi technology.*

- Beneficios de IEEE 802.11AF, *White-Fi*
 - Características de propagación: *White-Fi* opera los espacios en blanco del televisor utilizará frecuencias por debajo de 1 GHz, esto permitiría alcanzar mayores distancias que los Wi-Fi en 2.4 y 5 GHz.
 - Ancho de banda adicional: una de las ventajas de usar el espacio en blanco del televisor es que se puede acceder a frecuencias adicionales que de otro modo no se utilizarían. Sin embargo, será necesario agregar varios canales de TV para proporcionar los anchos de banda que Wi-Fi utiliza en 2.4 y 5.6 GHz, para lograr las tasas de rendimiento de datos requeridas.

7.1.16. Redes de microondas

Las reinas de las comunicaciones inalámbricas de gran capacidad son las microondas, sin ellas ninguna red inalámbrica de acceso sería posible, son el matrimonio perfecto. Las redes de microondas son las autopistas de gran capacidad de la información, su evolución ha estado de la mano de la gran capacidad de demanda de datos que se incrementa año con año.

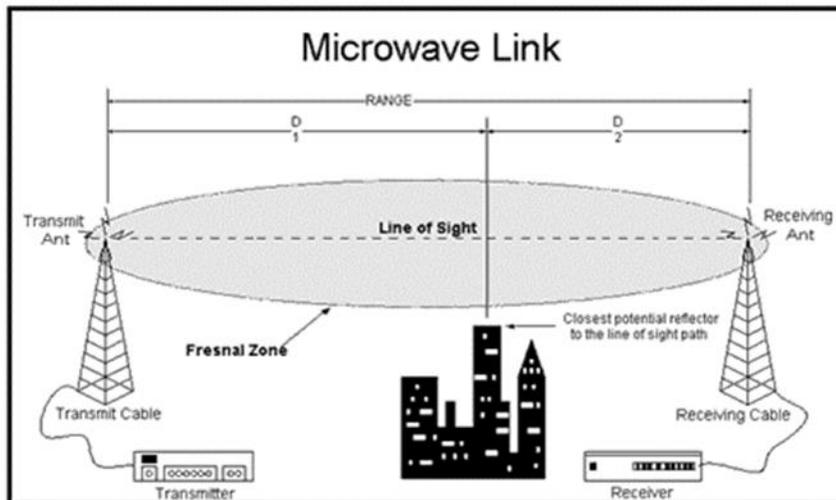
Todos los sistemas de redes de planta externa tal y como los conocemos son transportados por enlaces de microondas, aún las redes FTTx tienen una buena relación con las redes de microondas.

Figura 24. **Backbone de microondas**



Fuente: HFCL (2021). *Microwave Radio*. Consultado el 21 de agosto de 2021.
Recuperado de www.hfcl.com.

Figura 25. **Enlace de microondas**



Fuente: ETW (2018). *Microwave link*. Consultado el 22 de agosto de 2021.
Recuperado de: https://ethw.org/Microwave_Link_Networks.

La comunicación por microondas es la transmisión de señales a través de ondas de radio utilizando una serie de longitudes de onda de radio milimétricas. El sistema de microondas incluye radios ubicadas en lo alto de las torres de transmisión, que se utilizan para la transmisión de altos volúmenes de información de un punto A a otro punto B donde es mandatorio que exista línea de vista entre el punto A y el punto B. (ETHW, 2018, pp. 2-3)

7.1.16.1. Aplicaciones de las redes de microondas

Las microondas son ampliamente utilizadas para las comunicaciones punto a punto porque su pequeña longitud de onda permite llevar múltiples canales de información de baja frecuencia como datos, voz y video.

“Los enlaces de microondas se utilizan ampliamente en redes de *backhaul* 4G y 5G LTE, operadores móviles 2G (GSM) y 3G (UMTS), redes inalámbricas de área metropolitana (Wi-MAN) y redes corporativas con alto” (Microwavelink, 2018, p. 13).

7.1.16.2. Características clave

Los enlaces de microonda punto a punto incluyen las siguientes características.

Tabla VI. **Características clave de enlaces microondas**

Características Clave	Descripción
Modulaciones digitales de alta tasa.	Constelaciones típicas como: 256 QAM, 1024 QAM, 2048 QAM y 4096 QAM.
ATPC	Control automático de potencia de transmisión.
Codificación y modulación adaptativa (ACM)	Para enlaces largos, la función de codificación y modulación adaptativa permite que el enlace MMW ajuste dinámicamente su capacidad de modulación en condiciones de alta precipitación de lluvias, para garantizar que se maximice el tiempo de operación del enlace; la capacidad de datos y el alcance del enlace.

Fuente: elaboración propia.

7.1.16.3. Rangos de radiofrecuencia de uso

Existen diferentes gamas de productos de microondas que proporcionan soluciones para la transmisión de datos, video y voz, con frecuencias que van desde 3.5 GHz, 5.8 GHz, 6 GHz, 7-8 GHz, 11 GHz, 13 GHz, 15 GHz, 18 GHz, 23 GHz, 26 GHz hasta los 60 GHz.

7.1.16.4. Planificación de enlaces de microondas

“El diseño y la construcción de una red de radioenlace de microondas se basa en una serie de factores” (ETHW, 2018, p. 18).

Estos incluyen:

- Distancia entre terminales de radio de microondas.

- Propiedades del terreno, por ejemplo, cuerpos de agua, bosques, nieve.
- Frecuencia de operación, a menudo gobernada por costos de licencia, disponibilidad de frecuencia, distancias planificadas e incluso susceptibilidad a que la lluvia se desvanece.
- Gestión de interferencias al receptor de enlace de microondas. Generalmente se gestiona mediante la asignación de un par de frecuencias claro por parte del regulador, pero para las bandas de frecuencias vendidas en subasta o con delegación, por ejemplo, comunicaciones de defensa y grandes operadores, esto se convierte en responsabilidad de gestión del licenciatarario o propietario de la banda.
- Desvanecimiento, dispersión y distorsión multiproyecto.
- Tamaño de las antenas, propiedades de la línea de alimentación, necesidad de torres y mástiles, y para antenas de alta ganancia, incluso la estabilidad (tanto la inclinación como las propiedades de torsión) del mástil de soporte deben diseñarse para evitar que el haz de la antena se dirija mal debido al viento o al hielo en la estructura.
- Gestión de la humedad dentro de guías de onda externas.
- Gestión de equipos, alarmas de potencia y seguridad, conmutación por control remoto y sistemas de cables de pedidos.
- Permisos de usufructo de frecuencias por parte del ente regulador de cada región.

- Análisis del costo del equipo y costo-beneficio, incluido el mantenimiento del equipo.
- Disponibilidad de equipos y repuestos, mantenimiento, equipo de prueba y personal calificado.

7.1.16.5. Arquitectura enlace de microondas

Una parte del extremo de un enlace de microonda presenta típicamente una unidad de radio; una unidad de manejo de tráfico (multiplexores cuando se manejan tráfico de E1, y hoy día son *routers*) y una antena parabólica, que pueden variar en tamaño desde 30 cm hasta 4 m de diámetro dependiendo de la distancia y capacidad requeridas. La unidad de radio generalmente tiene una unidad de exterior completa y se le llama ODU (*outdoor unit*) y la una unidad de interior generalmente llamada IDU, (*indoor unit*). (Microwavelink, 2018, p. 16)

- Unidad interior (IDU)

Es un complemento de un radio de microondas, que puede ser instalado en una sala de comunicaciones con un sistema climatizado, protegido por sistema de tierras y alimentado con energía de respaldo.

- Unidad exterior (ODU)

Es una unidad o cabeza de radio que transmite y recibe señal, montada en una torre de telecomunicaciones o un soporte para azoteas. Esta unidad es instalada junto con la antena parabólica ya sea directamente o guías de onda.

7.1.16.6. Cálculo de pérdidas en la ruta de un radioenlace

La pérdida de trayectoria de la señal es esencialmente la reducción de la densidad de potencia de una onda o señal electromagnética a medida que se propaga a través del entorno en el que viaja. Esto afecta a todos los sistemas de comunicación por radio, radiodifusión y comunicación inalámbrico. (Microwavelink, 2018, p. 20)

Causas de pérdida de señal en un enlace microondas:

- Pérdida de espacio libre: es la pérdida donde la señal viaja por el espacio, que disminuye a mayor distancia.
- Difracción: cuando existe un objeto en la ruta.
- Multitrayecto: existe pérdida cuando las señales se reflejan en distintos puntos y llegan al receptor de la antena.
- Pérdidas de absorción: cuando la señal atraviesa a un medio, por ejemplo, vegetación, estructuras, entre otros.
- Terreno: se atenúa la señal cuando hay una obstrucción en el camino.

7.1.16.7. Presupuesto de trayectoria de radioenlace, en el espacio libre, en decibelios

Normalmente es más conveniente poder expresar la pérdida de trayectoria en términos de una pérdida directa en decibelios. De esta manera es posible calcular con una buena probabilidad la señal de RF esperada, en el receptor.

La pérdida de trayectoria en un espacio libre se observa en la siguiente ecuación, para un par de antenas isotrópicas.

$$FSPL(dB) = 20 \log \log (d) + 20 \log \log (f) + 32.44 \quad (\text{Ec. 1})$$

Donde:

d = Distancia del receptor desde el transmisor (km)

f = Frecuencia de la señal (MHz)

Agregando las ganancias de la antena en la ecuación

$$FSPL(dB) = 20 \log \log (d) + 20 \log \log (f) + 32.44 - G_{tx} - G_{rx} \quad (\text{Ec. 2})$$

Dónde:

G_{tx} = Ganancia total de la antena del transmisor, incluidas las pérdidas del alimentador (cable coaxial).

G_{rx} = Ganancia general de la antena del receptor, incluidas las pérdidas del alimentador (cable coaxial).

- Fórmula presupuestaria de radio enlace

Para un enlace de radio, es necesario investigar varios factores que pueden generar pérdidas y ganancias en un enlace inalámbrico punto a punto. Con la siguiente ecuación se puede calcular un presupuesto para un enlace de microondas:

$$PRX = PTX + GTX + GRX - LTX - LFS - LP - LRX \quad (\text{Ec. 3})$$

Tabla VII. **Variable ecuación presupuestaria de radioenlace**

PRX	Potencia recibida en el receptor (dBm).
PTX	Potencia de salida del transmisor (dBm).
GTX	Ganancia de la antena del transmisor (dBi).
GRX	Ganancia de antena del receptor (dBi).
LTX	<i>Feeder</i> de transmisión y pérdidas asociadas.
LFS	Pérdida de espacio libre o pérdida de trayectoria (<i>path loss</i>).
LP	Pérdidas diversas de propagación de la señal (estas incluyen margen de desvanecimiento, desajuste de polarización, pérdidas asociadas con el medio a través del cual viaja la señal, otras pérdidas) en dB.
LRX	<i>Feeder</i> del receptor y pérdidas asociadas (alimentador, conectores) en dB.

Fuente: elaboración propia.

En la práctica existen programas de cálculo de radio enlace que dan con buena precisión el presupuesto de radioenlace, tomando en cuenta las variables del radio modulación, potencia y frecuencia. Las variables ambientales, árboles, lagos, ríos, humedad. Las variables de la altura, ganancia, antena y distancia del radio enlace. Uno de estos programas es el *path loss*.

7.2. Red inalámbrica comunitaria

Las redes comunitarias de telecomunicaciones a raíz de la pandemia toman especial importancia, dado que muchos poblados de las áreas rurales no cuentan con un acceso a internet, y por lo tanto la comunidad no hace uso del internet.

7.2.1. Historia

Las redes comunitarias de telecomunicaciones junto a los centros tecnológicos comunitarios empezaron aparecer en los años 90, a medida que el internet empezaba a ganar popularidad. Las redes de comunicaciones comunitarias han recibido muchos nombres: Redes libres: Proveedores de telecomunicaciones alternativos, servicios de internet, entre otros. (Dulong y Tréguer, 2019, p. 24).

Las redes comunitarias empezaron con la organización de personas en áreas rurales que se cansaron de esperar que las grandes radiodifusoras y televisoras no extendieron su cobertura en estas regiones, y esto dio origen a que activistas locales empezaran a construir radios libres y otros medios comunitarios para difundir su propia voz y fomentar un entorno de comunicación más democrático.

7.2.2. Actualidad

La expansión del internet en pleno siglo XXI ha ido en crecimiento y la población mundial demanda cada vez más y más volumen de información que se disparó con la pandemia de COVID-19, debido al uso en confinamiento de aplicaciones digitales como videoconferencias, videojuegos, *streaming* de

películas y músicas y otras aplicaciones que generan gran demanda en el *down link* como en el *up link*.

Las grandes empresas proveedoras de servicios de telecomunicaciones como Claro y Tigo y las grandes empresas como Facebook, Amazon, Google, y otros, ganan mucho dinero al mantener a los cibernautas siempre conectados convirtiéndolos en adictos digitales. Y con la información recabada en la huella digital de cada usuario colaboran con gobiernos tanto despóticos como liberales para aplicar sus políticas de vigilancia digital.

Pero aun así existen poblados en el mundo en las regiones más subdesarrolladas que no tienen acceso al internet y que por consiguiente no lo utilizan y no se favorecen de sus beneficios o del control total. En esta primera fase del siglo XXI, muchos podrían pensar que ya tenemos demasiada comunicación y conectividad, o incluso que internet es un espacio peligroso pero la realidad es otra, existen muchas regiones en los países subdesarrollados y aún en los desarrollados donde los pobladores de áreas rurales o regiones suburbanas no cuentan con una conectividad a internet.

7.2.3. Concepto

Las redes comunitarias son infraestructuras de red de telecomunicaciones generalmente inalámbricas, diseñadas y planificadas para un poblado casi siempre rural, y que es construida con la ayuda de la comunidad, para que los habitantes de la comunidad puedan conectarse a Internet y además puedan hacer uso del mismo, obteniendo los beneficios de los servicios digitales como el acceso a los servicios públicos, formación técnica; educación reglada; y acceso al mercado laboral. (Baca, 2017, p. 14)

Usualmente estos poblados donde se construye la infraestructura de una red de comunicaciones no cuentan con servicios de energía eléctrica; son distantes a una ciudad principal y están localizados en lugares de difícil acceso.

“Las redes de telecomunicaciones comunitarias se construyen y gestionan como un bien común, es decir un recurso producido y mantenido colectivamente por la comunidad” (Baca, 2017, p. 35).

7.2.4. Organización

En la práctica se designa un grupo de personas coordinadas por un líder comunitario para que pueda ser un facilitador y concientizar a la comunidad de la importancia y sostenibilidad de la red comunitaria. La red comunitaria le pertenece a la comunidad y se construyen generalmente en ausencia de empresas de telecomunicaciones privadas que proveen telefonía y conectividad a internet.

Bajo esta descripción general, encontramos diferentes modelos de coordinación y organización, desde una entidad legal, como una asociación; hasta un grupo informal; y muchas soluciones técnicas, económicas, soluciones legales que respetan ciertos valores éticos.

7.2.5. Objetivos

Los objetivos principales de una red comunitaria pueden incluir proporcionar una plataforma sostenible y fiable para la población de una aldea suburbana para mejorar y revitalizar a la comunidad, lograr una democracia funcional. Básicamente busca gestionar las telecomunicaciones como un interés del pueblo

o un bien común. Consiste en una infraestructura de red física para compensar la falta de acceso a las tecnologías de información y comunicación.

El cierre de la brecha digital a través de líneas socioeconómicas; ofrecer un acceso más fácil a la información y a los servicios públicos; promoción del desarrollo económico local y el empleo. Fortalecimiento de la identidad local; revitalización, promoción y mantenimiento de los lazos comunales locales. Mejoramiento de la vida de los habitantes promoción del auto empoderamiento y el intercambio de conocimientos.

7.2.6. Importancia

Las soluciones hoy en día muestran signos de haber alcanzado sus límites. Los intentos de abordar este problema, ya sea a través de estrategias o fondos de servicio universal, iniciativas del sector privado o filantropía, han tenido un éxito limitado. Esto plantea un dilema a los responsables políticos y a los reguladores, ya que el valor sigue siendo para los que tienen un acceso asequible a la infraestructura de comunicación, mientras que los que no están conectados se quedan cada vez más rezagados por el simple hecho de permanecer en el mismo lugar.

Otro Internet es posible, uno en la que las personas y sus derechos son lo primero, en la que son capaces de reapropiarse de la infraestructura digital y desafiar las estructuras de poder que nos están convirtiendo en siervos digitales, en la que las herramientas de comunicación modernas que nos rodean pasan a estar al servicio de las comunidades locales y se convierten en herramientas de emancipación.

8. PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

LISTA DE SÍMBOLOS

GLOSARIO

RESUMEN

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

OBJETIVOS

HIPÓTESIS

RESUMEN DEL MARCO TEÓRICO

INTRODUCCIÓN

1. MARCO TEORICO

1.1. Redes inalámbricas

1.1.1. Redes inalámbricas de acceso RAN

1.1.2. Características fundamentales de los estándares
radio acces networks

1.1.3. Tipos de multiplexación en RF

1.1.4. Modulación digital.

1.1.5. Velocidad demandada de internet

1.1.6. Arreglo de antenas (MIMO)

1.1.7. Redes inalámbricas LAN

1.1.8. Arquitectura red LAN inalámbrica.

1.1.9. Estándar wifi

1.1.10. Estructura de capas Wi-Fi

1.1.11. El *roadmap* de Wi-Fi

- 1.1.12. La familia de protocolos Wi-Fi
- 1.1.13. Versión estándar Wi-Fi 5 o IEEE 802.11AC
- 1.1.14. Versión estándar Wi-Fi 6
- 1.1.15. Versión estándar *White-Fi*
- 1.1.16. Redes de microondas
 - 1.1.16.1. Aplicaciones de las redes de microondas
 - 1.1.16.2. características clave
 - 1.1.16.3. Rangos de radiofrecuencia de uso
 - 1.1.16.4. Planificación de enlaces de microondas
 - 1.1.16.5. Arquitectura enlace de microonda.
 - 1.1.16.6. Cálculo de pérdidas en la ruta de un radioenlace
 - 1.1.16.7. Presupuesto de trayectoria de radioenlace, en el espacio libre, en decibelios
- 1.2. Red inalámbrica comunitaria
 - 1.2.1. Historia
 - 1.2.2. Actualidad
 - 1.2.3. Concepto
 - 1.2.4. Organización
 - 1.2.5. Objetivos
 - 1.2.6. Importancia

2. MARCO METODOLÓGICO DE LA INVESTIGACIÓN

- 2.1. Diseño del marco metodológico de la investigación
- 2.2. Alcance y técnica de estudio
- 2.3. Paradigma de la investigación
- 2.4. Enfoque de la investigación
- 2.5. Población de estudio

- 2.6. Tamaño de la muestra
- 2.7. Técnicas de investigación
- 2.8. Instrumentos de recolección de datos
- 2.9. Variables

3. TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN:

4. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES.

5. FACTIBILIDAD DE ESTUDIO

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIAS

APÉNDICES

ANEXOS

9. METODOLOGÍA

9.1. Diseño del marco metodológico de la investigación

El diseño del marco metodológico propuesto toma de referencia el objetivo principal del trabajo de investigación: diseño de la infraestructura de una red comunitaria de comunicaciones con acceso a la banda ancha, para el uso del internet de la comunidad de Cocolá Grande.

El diseño que se utilizará para el desarrollo del presente trabajo sigue el orden del modelo de investigación no experimental: en la investigación no experimental, se observan y exploran los fenómenos o acontecimientos tal y como se dan en su contexto natural, para después analizarlos.

9.2. Alcance y técnica de estudio

El estudio será del tipo transversal o transeccional y se realizará en la aldea Cocolá Grande, entre noviembre y diciembre del año 2021. El relevamiento de información se realizará durante 2 días.

Se plantea que el siguiente trabajo de investigación será realizado con la técnica de estudio descriptivo; se plantea describir la situación actual (multicausalidad) del porque no acceso a la banda ancha en la Aldea Cocolá Grande y las dificultades (consecuencias) que la falta de internet provoca en los pobladores de la Aldea.

9.3. Paradigma de la investigación

Se utilizará el paradigma constructivista o también llamado paradigma socio crítico, partiendo del hecho de que esta investigación de acción implica la colaboración del investigador con profesionistas y grupos de ayuda para promover los cambios necesarios dentro de la Aldea Cocolá Grande para la implementación de una red de telecomunicaciones comunitaria, que haga posible el uso del internet en dicha comunidad.

9.4. Enfoque de la investigación

Partiendo del hecho de que la investigación tomará de base el paradigma constructivista, se plantea entonces un enfoque de investigación cualitativa. con la técnica de investigación acción, que es una técnica cualitativa que busca generar condiciones de conocimiento colectivo haciendo que los actores sociales de la Aldea Cocolá Grande tomen conciencia de su problemática y puedan transformarla positivamente en pro de mejorar sus condiciones de vida.

Dado que se estudiará la factibilidad para la instalación de un sistema de telecomunicaciones inalámbrico, se hará una investigación de campo del tipo documental.

9.5. Población de estudio

En este Marco se define como unidad de análisis o población de estudio. la Aldea Cocolá Grande. La población que conforma el conjunto total de la unidad de análisis, son los públicos internos de la aldea; se confirma que actualmente existen en la aldea un promedio de 250 casas y cada casa representa un grupo familiar promedio de 7 a 9 personas, donde viven hacinados, abuelos, padres,

hijos y nietos. por lo que se estima que la población en general está entre los 2000 a 2500 habitantes.

9.6. Tamaño de la muestra

Para la recolección de datos dentro de la Aldea Cocolá, se realizará un muestreo por juicio o criterio del investigador, se trata de una técnica de muestreo no probabilístico y no aleatorio. Esta técnica permite observar hábitos, opiniones, y puntos de vista de manera más sencilla.

9.7. Técnicas de investigación

- Entrevistas: el criterio de inclusión para la selección de los entrevistados será a: los actores principales representativos de grupos de poder interno de la Aldea Cocolá Grande, como serán el alcalde comunitario, el COCODE. el claustro de maestros del instituto de educación media de la Aldea Cocola Grande; y otros grupos a identificar.
- Observación y documentación: se realizará una visita de campo con el objetivo de analizar las diferentes ubicaciones en donde poder instalar el nodo principal de distribución de Internet, para la Aldea Cocolá Grande.

9.8. Instrumentos de recolección de datos

La recolección de datos primeros se realizará con una guías de entrevistas (cédulas de entrevistas) y videos.

9.9. Variables

Las variables en estudio se describen a continuación.

Tabla VIII. **Variables de estudio**

Planteamiento del problema	Objetivos	Hipótesis	Variables e indicadores
Pregunta general	Objetivo general	Hipótesis general	Variables dependiente
¿Cuál debería ser el plan para el diseño de una red de telecomunicaciones inalámbricas con acceso a Internet, en la Aldea Cocolá Grande?	.. Diseño de la infraestructura de una red comunitaria de comunicaciones con acceso a la Banda Ancha, para el uso del internet de la comunidad de Cocolá Grande.	Existe una relación directa y significativa entre la implementación y funcionamiento de una red comunitaria y los objetivos de sostenibilidad y empoderamiento.	Implementación y funcionamiento de una red comunitaria: <ul style="list-style-type: none"> • Diseño • Presupuesto
Preguntas específicas	Objetivos específicos	Hipótesis específicas	Variable independiente
1. ¿Qué es una red inalámbrica comunitaria?	1. 2. Describir las características principales de una red inalámbrica comunitaria.	Relación directa entre una red comunitaria de telecomunicaciones y sus características.	Red comunitaria inalámbrica <ul style="list-style-type: none"> • Técnicas y Capacidades. • Uso de las tecnologías.
2. ¿Qué tecnologías inalámbricas punto a punto y punto multipunto facilitan la construcción de redes inalámbricas comunitarias?	2. 1. Analizar los estándares de redes de telecomunicaciones inalámbricas para acceso y distribución (transporte)	Relación directa entre las tecnologías inalámbricas punto a punto y punto multipunto y los estándares de redes inalámbricas.	Estándares inalámbricas PTP y PMP <ul style="list-style-type: none"> • Enlace de Microondas; punto a punto. • Enlaces WI-FI 6; punto multipunto. Arquitectura de la red <ul style="list-style-type: none"> • Infraestructura.

Continuación tabla VIII.

3. ¿Cuál debería de ser la arquitectura e infraestructura de una red inalámbrica comunitaria?	3. Diseñar la arquitectura de una red de comunicaciones inalámbrica, con elementos de Core, distribución, acceso e infraestructura de soporte	Relación directa entre la arquitectura de la red comunitaria y sus componentes.	<ul style="list-style-type: none"> • Acceso a la banda ancha. • Enlace punto a punto.
			Cálculo de presupuesto de la red
4. ¿Cuánto debería de ser la inversión para la implementación de una red inalámbrica comunitaria en la Aldea Cocolá Grande?	4. 4. Calcular el costo de inversión para la implementación de una red inalámbrica comunitaria en la Aldea Cocolá Grande.	Relación directa entre presupuesto financiero de la red de comunicaciones comunitaria y los fondos para el despliegue y funcionamiento.	<ul style="list-style-type: none"> • Estudio de campo • Infraestructura. • Enlace <i>wireless</i> punto a punto • Enlace <i>wireless</i> punto multipunto. • Servicio de internet del ISP.

Fuente: elaboración propia.

10. TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

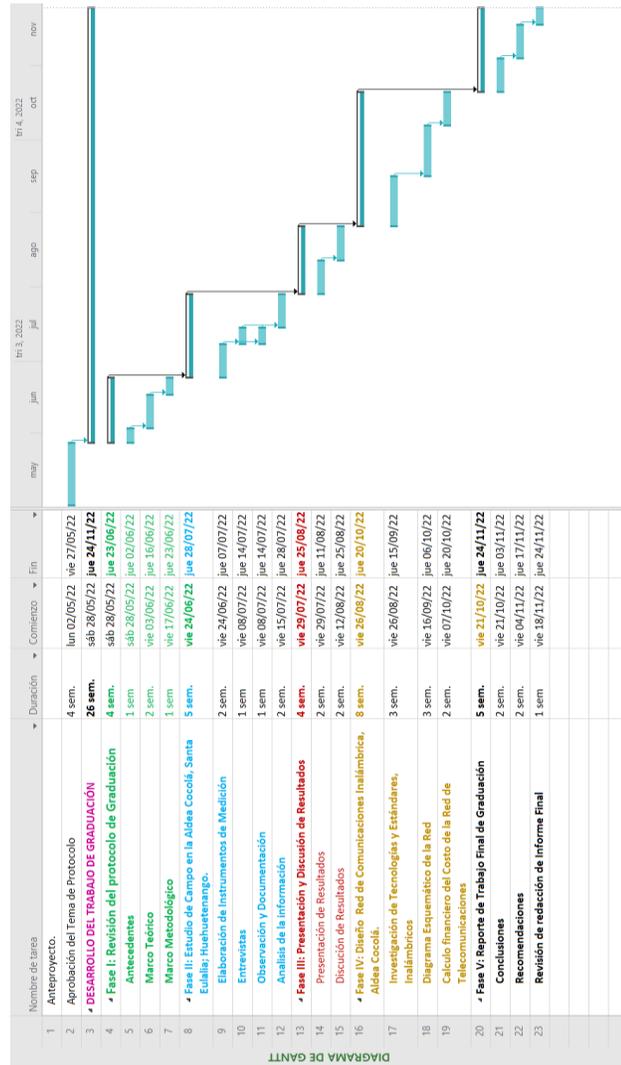
Se realizará un análisis de datos cualitativo, dado que se analizarán solamente entrevistas abiertas, a los grupos de interés de la Aldea.

Los resultados cualitativos se presentarán en el formato de:

- Análisis matricial
- Descripción de fotografías
- Infografías

11. CRONOGRAMA

Tabla IX. Cronograma de Actividades



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Project.

12. FACTIBILIDAD DE ESTUDIO

La investigación será financiada en su totalidad por el investigador, como recursos humanos se tomará el apoyo del asesor del trabajo de investigación, así como el trabajo del investigador.

El área física necesaria para la investigación será la Aldea Cocolá Grande, del municipio de Santa Eulalia; del departamento de Huehuetenango; de la República de Guatemala, Centroamérica.

Finalmente, los medios necesarios para hacer la siguiente investigación estarán conformados por: equipo de cómputo, internet, energía eléctrica, mobiliario y equipo, oficina o estudio de trabajo, cámara fotográfica, transporte terrestre hacia la Aldea Cocolá, alimentación, hospedaje, papelería y útiles

Tabla X. **Costos de trabajo de Investigación**

Recursos		Presupuesto:
Humanos	● Investigador	Q. 12,000.00
	● Asesor de trabajo de investigación.	Q. 3,000.00
Materiales	● Equipo de Computo	Q. 2000.00
	● Impresora	Q. 500.00
	● Mobiliario y Equipo	Q. 1,000.00
	● Internet	Q. 4,000.00
	● Cámara Fotográfica	Q. 200.00
	● Oficina o Estudio	Q. 3,000.00
	● Papelería y útiles.	Q. 500.00

Continuación tabla X.

	• Transporte	Q. 2,000.00
	• Viáticos	Q. 800.00
Otros	• Hospedaje	Q. 800.00
Total, de gastos		Q. 29,300.00

Fuente: elaboración propia.

13. REFERENCIAS

1. 3GPP (2019). *Velocidad de Demanda Internet*. Francia: Instituto Europeo de Normas de Telecomunicaciones. Recuperado de [www.3GPP.com](http://www.3gpp.com).
2. 3GPP. (2021). *The Mobile Broadband Standard*. Francia: Instituto Europeo de Normas de Telecomunicaciones. Recuperado de <https://www.3gpp.org/>.
3. Arellanos, J. (2014). *Radios Cognitivos: Conectividad en zonas rurales utilizando espacios blancos de TV* (Tesis de maestría). Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey, México. Recuperado de <https://repositorio.tec.mx/handle/11285/619523>.
4. Arenas, P. A. (2018). *Redes inalámbricas* (Tesis de licenciatura). Universidad Nacional de Educación, Perú. Recuperado de <https://repositorio.une.edu.pe>.
5. Baca, B. L. (2017). *Community networks in Latin American, challenges, regulations and solutions*. Estados Unidos: Internet Society. Recuperado de <https://www.internetsociety.org/wp-content/uploads/2018/12/2018-Community-Networks-in-LAC-EN.pdf>.

6. Danel, E. (2020). *Wi-Fi 6E Standard and Channels – 802.11ax Operation in the 6 GHz Band*. Inglaterra, Reino Unido: Litepoint. Recuperado de <https://www.litepoint.com/blog/wi-fi-6e-standard-and-channels/>.
7. Digital Trends. (13 de enero, 2019). El estándar WI-FI 6. [Mensaje en un blog]. Recuperado de <https://es.digitaltrends.com>.
8. Dulong, M., y Tréguer, F. (2019). *Telecommunications Reclaimed*. Estados Unidos: CNRS. Recuperado de <https://www.netcommons.eu/telecommunications-reclaimed>.
9. Electronics Notes. (2017). Radio Link Budget: details & formula. Estados Unidos: Autor. Recuperado de <https://www.electronics-notes.com/articles/antennas-propagation/propagation-overview/radio-link-budget-formula-calculator.php>.
10. Emmerling, F. (2020). *Wi-Fi 6: Key Innovations and their Contributors*. Alemania: JUVE Patent. Recuperado de <https://www.juve-patent.com/sponsored/wi-fi-6-key-innovations-and-their-contributors-part-2/>.
11. Ergen, M. (2009). *Principles of OFDM*. Boston, Estados Unidos: Springer.
12. Espinal, A. (2017). *Alternativas de acceso a internet para establecimientos educativos rurales oficiales sin cobertura en los municipios no certificados en Antioquia* (Tesis de maestría). Universidad Pontificia Bolivariana, Colombia. Recuperado de <https://repository.upb.edu.co/>.

13. Engineering and Technology History Wiki. (2018). *Engineering and Technology History Wiki*. Estados Unidos: Autor. Recuperado de https://ethw.org/Microwave_Link_Networks.
14. Engineering and Technology History Wiki. (2018). *Microwave link*. Estados Unidos: Autor.
15. Forum Huawei. (15 de junio, 2015). OFDM y OFDMA. [Mensaje en un blog]. Recuperado de <https://forum.huawei.com>.
16. Forum Huawei. (22 de mayo, 2020). SC-FDMA in the LTE. [Mensaje en un blog]. Recuperado de <https://forum.huawei.com>.
17. Forum Huawei. (14 de febrero, 2021). Desarrollo y Evolución del estándar IEEE 802.11. [Mensaje en un blog]. Recuperado de <https://forum.huawei.com>.
18. Galván, A. (2014). *Radios cognitivos: Conectividad en zonas rurales utilizando espacios blancos de TV* (Tesis de maestría) Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, México.
19. García, E. I. (2019). *Promoción del desarrollo digital en Guatemala, retos y acciones*. Guatemala: Banco Interamericano de Desarrollo. Recuperado de <https://www.iadb.org/es>.
20. García, E. I. (2020). *Brecha Digital en América Latina y El Caribe*. Guatemala: Banco Interamericano de Desarrollo. Recuperado de <https://www.iadb.org/es>.

21. Gokhan, G. (2015). Spatial Multiplexing MIMO. [Mensaje en un blog]. Recuperado de <https://www.nanmin.com>.
22. Grabski, S. (2013). *Steganography in OFDM Symbols of Fast IEEE 802.11n Networks*. Estados Unidos: IEEE. Recuperado de <https://www.computer.org/csdl/proceedings-article/spw/2013/06565245/12OmNApLGTP>.
23. Himachal Futuristic Communications Limited. (2021). *Microwave Radio*. India: Autor.
24. Huawei. (2021). WIFI 6 Technology. China: Autor Recuperado de <https://forum.huawei.com/enterprise/es/802-11ax-o-wifi-6-tecnolog%C3%ADa-inal%C3%A1mbrica-que-llega-para-que-darse-en-nuestros-hogares/thread/736345-100325>.
25. Internet Society. (2018) *Crecimiento de Internet*. Estados Unidos: Autor.
26. Internet Society. (2021). *Redes Comunitarias*. Suiza: Autor. Recuperado de <https://www.internetsociety.org/es/issues/redes-comunitarias/>.
27. Juve Patent. (17 de marzo, 2020). Wi-Fi 6 Innovations. [Mensaje en un blog]. Recuperado de: <https://www.juve-patent.com/>.
28. LitePoint. (5 de febrero, 2020). Background on Wi-Fi Standards. [Mensaje en un blog]. Recuperado de <https://www.litepoint.com>.
29. Martínez, M. (septiembre, 2020). La desigualdad digital en México: Un análisis de las razones para el no acceso y el no uso de Internet.

Revista de Tecnología y Sociedad, 10(19), 1-19. Recuperado de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-36072020000200004.

30. Melo, M. E. (2018). *La integración de las TIC como vía para optimizar el proceso enseñanza-aprendizaje en la educación superior en Colombia* (Tesis de doctorado). Universidad de Alicante, España. Recuperado de https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/80508/1/tesis_myriam_melo_hernandez.pdf.
31. Méndez, H. K. (2005). *Internet por satélite, para contribuir al desarrollo de las comunidades rurales* (Tesis de licenciatura). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala. Recuperado de http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/16/16_0358.pdf.
32. Microwavelink. (2018). *Welcome to Microwave-Link.com*. Inglaterra, Reino Unido: Autor.
33. Mrunal. (2014). *Microsoft's White-Fi technology*. Estados Unidos: Autor.
34. NetGear (12 de abril, 2020). Tecnología MIMO. [Mensaje en un blog]. Recuperado de <https://www.netgear.es>.
35. Riunet (12 de mayo, 2019). Características diferentes generaciones. [Mensaje en un blog]. Recuperado de <https://riunet.upv.es>.
36. SemanticScholar (12 de agosto, 2013). Modulaciones digitales. [Mensaje en un blog]. Recuperado de www.semantic scholar.org.

37. Sharony, D. J. (2006). *Introduction to Wireless MIMO –Theory and Applications*. Nueva York, Estados Unidos: IEEE. Recuperado de https://www.ieee.li/pdf/viewgraphs/introduction_to_wireless_mimo.pdf.
38. WIFI Alliance (2021). *Características de IEE 802.11ac*. Estados Unidos: Autor.
39. Wikiwand (15 de julio, 2018). *Multiplexación por división de frecuencia*. [Mensaje en un blog]. Recuperado de <https://www.wikiwand.com>.
40. Wireless Network in Developing World. (2013). *Redes Inalámbricas en los Países en Desarrollo*. Copenhagen, Dinamarca: Autor.
41. Xataka. (12 de enero, 2021). *Coloración BSS*. [Mensaje en un blog]. Recuperado de <https://xataka.com>.
42. Xiboard. (10 de enero, 2021). *Enlaces inalámbricos punto multipunto*. [Mensaje en un blog]. Recuperado de: <http://xiboard.com.ve/enlaces>.