



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA CENTROAMERICANA

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROYECTO FASE I

ENLACE POR MICROONDAS A LA COMUNIDAD DE CUYAMEL, OMOA, CORTÉS

PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO:

INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES

PRESENTADO POR:

21711001 JOSÉ RUBÉN HERNÁNDEZ VIGIL

ASESOR: ING. ANA REYES

CAMPUS SAN PEDRO SULA; ABRIL, 2021

HOJA DE FIRMAS

Los abajo firmantes damos fe, en nuestra posición de miembro de Terna, Asesor y/o Jefe Académico y en el marco de nuestras responsabilidades adquiridas, que el presente documento cumple con los lineamientos exigidos por la Facultad de Ingeniería y los requerimientos académicos que la Universidad dispone dentro de los procesos de graduación

DEDICATORIA

Primeramente, quiero dedicar esta investigación a Dios, por habilitarme, abrirme puertas y derramar sabiduría sobre mi persona, para poder culminar con éxitos mis estudios. Así mismo a mis padres por su sacrificio, su apoyo incondicional, su motivación y sus enseñanzas que me han brindado y han contribuido en mi formación integral a lo largo de mi vida, sin las cuales no habría podido alcanzar este logro para en mi vida estudiantil. De igual forma a mi hermana, tíos, tías, abuelos y amigos que siempre han estado apoyándome en mi trayectoria universitaria.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios primeramente por su amor, su gracia y su inmensa sabiduría que derramó sobre mí. A mis padres, mi hermana y familiares que siempre me dieron su inmenso apoyo durante mi vida universitaria.

Así mismo a mi asesora metodológica y catedráticos por brindar sus conocimientos en cada una de sus áreas dentro de los estándares de calidad y guiarme sabiamente en la planificación y ejecución de este proyecto de investigación.

EPÍGRAFE

**Porque Jehová da la sabiduría, y de su boca viene el conocimiento y la
inteligencia.**

Proverbios 2:6 (RVA)

RESUMEN EJECUTIVO (ESPAÑOL)

Hoy en día el poseer una conexión a internet se ha convertido en una necesidad, y cada vez más personas utilizan el internet para los fines que a estos les convengan, ya sea, educación, ocio, trabajo e incluso para el sector de salud, y en el área rural se da la problemática de no contar con una conexión a internet de calidad, siendo este el problema principal a tratar. En la presente investigación se han abordado temas relevantes para el entendimiento del problema, el cual es, la deficiencia de la estabilidad de la conexión a internet en la comunidad de Cuyamel, municipio de Omoa, y la solución es lograr un enlace por medio de microondas para abarcar toda la comunidad y así poder otorgar una conexión estable. Para poder llevar a cabo el diseño de la conectividad se ha utilizado el simulador "AirLink" de Ubiquiti, el cual ha permitido poder colocar los nodos en zonas estratégicas, seleccionar el equipo, el cual debe de estar colocado a una altura de 15 metros para la antena principal y 12 metros para el resto del equipo, y una distancia la cual permita poder tener la mayor conectividad, permitiendo de igual forma, analizar el espacio existente entre los diferentes puntos, verificando que no exista algún obstáculo que interrumpa la conexión. El equipo de Ubiquiti utiliza una tecnología airMax, la cual brinda mejoras de rendimiento en latencia y escalabilidad, el uso de esta tecnología permite que los equipos admitan hasta más de 500Mbps de velocidad. Según el análisis financiero, el proyecto es rentable, ya que, se garantiza que la inversión puede ser recuperada en un periodo aproximado de tres meses.

RESUMEN EJECUTIVO (INGLÉS)

Today owning an internet connection has become a necessity, and more and more people are using the internet for the purposes that suit them, whether it is education, leisure, work and even for the health sector, and in the rural area there is the problem of not having a quality internet connection, this being the main problem to be addressed. This research has addressed issues relevant to the understanding of the problem, which is, the lack of the stability of the internet connection in the community of Cuyamel, municipality of Omoa, and the solution is to achieve a microwave link to cover the entire community in order to provide a stable connection. In order to carry out the connectivity design, Ubiquiti's "AirLink" simulator has been used, which has allowed you to place the nodes in strategic areas, select the equipment, which must be placed at a height of 15 meters for the main antenna and 12 meters for the rest of the equipment, and a distance which allows to have the greatest connectivity , allowing in the same way, to analyze the space between the different points, verifying that there is no obstacle that interrupts the connection. The Ubiquiti team uses airMax technology, which provides performance improvements in latency and scalability, using this technology allows computers to support up to more than 500Mbps speed. According to the financial analysis, the project is profitable, as the investment is guaranteed to be recovered over a period of approximately three months.

ÍNDICE DE CONTENIDO

I. Introducción.....	3
II. Planteamiento del Problema	4
2.1 Precedentes del Problema.....	4
2.2 Definición del Problema.....	4
2.3 Justificación.....	4
2.4 Preguntas de Investigación.....	5
2.5 Objetivos.....	5
2.5.1 Objetivo General	6
2.5.2 Objetivos Específicos.....	6
III. Marco Teórico	7
3.1 Espectro radioeléctrico	7
3.2 Medios de Transmisión	10
3.2.1 Ondas Radioeléctricas.....	10
3.2.2 Sistemas de Radio por Onda de Tierra.....	10
3.2.3 Radio de Alta Frecuencia	10
3.2.4 Radio de Muy Alta Frecuencia y de Ultra Alta Frecuencia	11
3.2.5 Radio de Microondas	12
3.2.6 Microondas Terrestres	12
3.2.6.1 Aplicaciones de las microondas terrestres.....	13
3.2.7 Sistemas de Satélites	13
3.3 Medios Inalámbricos	14
3.3.1 Propagación.....	16

3.3.1.1 Propagación por línea de vista.....	17
3.3.1.2 Propagación por onda de tierra.....	17
3.3.1.3 Propagación por onda troposférica.....	17
3.3.1.4 Propagación por onda de cielo.....	17
3.4 Sistema de comunicación por microondas.....	18
3.5 Radioenlace.....	18
3.5.1 Tipos de Conexión de un Radioenlace.....	18
3.5.1.1 Enlaces Punto a Punto (PTP).....	19
3.5.1.2 Enlaces Punto a Multipunto (PMTP).....	20
3.5.2 Antena.....	21
3.5.3 Clasificación de las Antenas.....	21
3.5.3.1 Antena directiva.....	21
3.5.3.2 Antena Omnidireccional.....	22
3.5.3.3 Antena Sectorial.....	22
3.5.3.4 Antena Isotrópica.....	23
3.5.4 Parámetros de las Antenas.....	23
3.5.4.1 Ángulo de Elevación.....	23
3.5.4.2 Ángulo de Azimut.....	23
3.5.4.3 Ganancia.....	23
3.5.4.4 Ancho de banda.....	23
3.5.4.5 Directividad.....	23
3.5.4.6 Polarización.....	24
3.5.4.7 Eficiencia.....	24

3.5.4.8 Potencia.....	25
3.5.4.9 Sensibilidad.....	25
3.5.4.10 Zona de Fresnel.....	25
3.6 Redes Inalámbricas.....	26
3.6.1 Clasificación de las Redes Inalámbricas	27
3.6.1.1 Redes Inalámbricas de Área Personal (WPAN).....	28
3.6.1.2 Redes Inalámbricas de Área Local (WLAN).....	28
3.6.1.3 Redes Inalámbricas de Área Metropolitana (WMAN).....	29
3.6.1.4 Redes Inalámbricas de Área Amplia (WWAN)	30
3.7 Ventajas y Desventajas de las Redes Inalámbricas	30
IV. Metodología.....	32
4.1 Enfoque.....	32
4.2 Variables de Investigación.....	33
4.2.1 Variable Dependiente.....	34
4.2.1.1 Factibilidad del enlace	34
4.2.2 Variables Independientes	34
4.2.2.1 Economía	34
4.2.2.1.1 Tasa Interna de Retorno (TIR)	35
4.2.2.1.2 Valor Actual Neto (VAN).....	35
4.2.2.2 Tecnologías	35
4.2.2.2.1 Disponibilidad de equipo	35
4.2.2.3 Terreno.....	36
4.2.2.2.4 Población a ser atendida.....	36

4.3 Técnicas e Instrumentos Aplicados.....	36
4.4 Materiales	37
4.5 Población y Muestra	37
4.6 Metodología de Estudio.....	37
4.7 Cronograma de Actividades	38
V. Resultados y Análisis	40
5.1 Proyección de Costos.....	40
5.1.1 Materiales a Utilizar.....	40
5.1.1.1 Rocket Prism 5AC Gen 2	40
5.1.1.1.1 Tecnología airMax	42
5.1.1.1.2 Tecnología airPRISM.....	43
5.1.1.2 LiteBeam 5AC Gen 2.....	43
5.1.2 Costos de Inversión.....	44
5.2 Altura Estimada del Equipo.....	47
5.3 Coordenadas y Parámetros Técnicos del Equipo	49
VI. Conclusiones	56
6.1 Conclusión Global.....	56
6.2 Conclusiones Parciales.....	56
VII. Recomendaciones.....	58
Bibliografía	59

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1-Ondas de cielo producidas por refracción	11
Ilustración 2-Sistema de transmisión vía satélite	14
Ilustración 3-Propagación de ondas de radio	16
Ilustración 4-Modos de propagación de ondas.....	16
Ilustración 5- Enlace Punto a Punto	19
Ilustración 6- Enlace punto a multipunto.....	20
Ilustración 7- Funcionamiento de la antena omnidireccional	22
Ilustración 8- Polarización horizontal y vertical de una antena	24
Ilustración 9- Zona de Fresnel	26
Ilustración 10- Clasificación de las redes inalámbricas	27
Ilustración 11- Redes inalámbricas de área personal (WPAN)	28
Ilustración 12- Esquema de una WLAN en el hogar	29
Ilustración 13- Diagrama de una red WiMAX.....	30
Ilustración 14-VARIABLES DE INVESTIGACIÓN.....	33
Ilustración 15-Rocket Prism 5AC Gen 2	41
Ilustración 16-Incorporación del Rocket Prism 5AC Gen 2 en la antena Rocket Dish.....	42
Ilustración 17-LiteBeam 5AC Gen 2.....	43
Ilustración 18-Comunicación antena principal y antena1.....	48
Ilustración 19-Comunicación antena1 a casa1.....	49
Ilustración 20-Puntos de ubicación	50
Ilustración 21-Área de cobertura de la antena principal	50
Ilustración 22-Comunicación antena principal y antena2.....	51

Ilustración 23-Comunicación antena principal y antena3.....	51
Ilustración 24-Área de cobertura de la antena1	52
Ilustración 25- Comunicación antena1 a casa2.....	52
Ilustración 26-Área de cobertura de la antena2	53
Ilustración 27-Comunicación antena2 a casa1	53
Ilustración 28-Comunicación antena2 a casa2.....	54
Ilustración 29-Área de cobertura de la antena3	54
Ilustración 30-Comunicación antena3 a casa1	55
Ilustración 31-Comunicación antena3 a casa2.....	55

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1- Espectro Radioeléctrico	9
Tabla 2- Tipos de enlaces que interconectan los nodos	19
Tabla 3- Ventajas y desventajas de los enlaces punto a punto	20
Tabla 4- Ventajas de las redes inalámbricas.....	31
Tabla 5- Desventajas de las redes inalámbricas.....	31
Tabla 6- Características de Rocket Prism 5AC Gen 2	41
Tabla 7- Características Litebeam 5AC Gen 2	44
Tabla 8- Costos de inversión inicial	45
Tabla 9- Proyección de ventas, ingresos y egresos mensual y anual	46
Tabla 10- Tasa Interna de Retorno.....	47
Tabla 11- Valor Actual Neto	47

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1- Ecuación de eficiencia	24
Ecuación 2- Zona de Fresnel	25
Ecuación 3-Fórmula para calcula el valor actual neto	35

LISTA DE SIGLAS Y GLOSARIO

CB Citizen Band/ Radio de Banda Civil.

CCIR Consultivo Internacional de Radiocomunicaciones.

CONATEL Comisión Nacional de Telecomunicaciones.

Hz Hercio o Hertz

IEEE Institute of Electrical and Electronics Engineers.

ITU Unión Internacional de Telecomunicaciones.

MAF Muy Alta Frecuencia.

MO Microondas

PMTP Point to Multipoint/ Punto a Multipunto.

PTP Point to Point/ Punto a Punto.

STL Studio Transmitter Link

TIR Tasa Interna de Retorno

UAF Ultra Alta Frecuencia.

VAN Valor Actual Neto

WLAN Redes Inalámbricas de Área Local.

WMAN Redes Inalámbricas de Área Metropolitana.

WPAN Redes Inalámbricas de Área Personal.

WWAN Redes Inalámbricas de Área Amplia.

Difracción: Modulación o redistribución de la energía dentro de un frente de onda, al pasar cerca de la orilla de un objeto opaco.

Ionosfera: Región del espacio que está entre 50 y 400 km (30 a 250 mi) sobre la superficie terrestre. Es la parte superior de la atmósfera terrestre.

Reflexión: Cambio de dirección de una onda.

Refracción: Cambio de dirección de un rayo al pasar en dirección oblicua de un medio a otro con distinta velocidad de propagación.

I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad el uso de equipos y antenas para la implementación de enlaces por microondas en las empresas, negocios, en el área urbana y en el área rural, han aumentado, ya que con ellos se tiene la capacidad para poder transmitir internet, voz y datos a diferentes lugares, de una forma mucho más confiable, eliminando las limitaciones que tiene la forma cableada. Hoy en día la comunicación a distancia no sería posible sin medios de transmisión inalámbricos.

Las telecomunicaciones y el internet se han convertido cada vez más en un pilar fundamental para la sociedad, ya que facilitan el poder realizar diversos trabajos, como ser temas relacionados a la salud, trámites de diferente índole como ser pagos de distintos servicios, ayudarán a obtener una mejor educación sin interrupciones. Por esas razones, es que tener una conexión a internet estable se ha convertido en prioridad para la población, además, más personas están requiriendo tener acceso a internet de mejor calidad.

Por las razones anteriormente expuestas, se diseñará una propuesta que permitirá dar una mayor estabilidad teniendo como resultados menos pérdida para los usuarios de la comunidad de Cuyamel, municipio de Omoa, la conexión se basará en el uso de tecnología por microondas, la cual, permitirá dar una conectividad más estable, ubicando los puntos de acceso en lugares estratégicos para poder contar con una conexión de alta calidad.

El brindar una conexión de alta calidad proporcionará a los habitantes de la comunidad de Cuyamel un gran abanico de oportunidades para el negocio y el comercio, un mejor acceso a la educación.

Se iniciará planteando el problema que se presenta en la comunidad, se establecerán los objetivos generales y específicos de la investigación, se expondrá la información fundamental para poder conocer los diferentes términos requeridos, diversos materiales y sus respectivas características, se finalizará con un diseño utilizando el software de Ubiquiti para poder mostrar los puntos donde se colocarán las antenas.

II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El planteamiento del problema consiste en una descripción concisa de un problema que debe de abordarse o una condición que debe de mejorarse, identificando la brecha entre el estado actual y el estado deseado de una proceso o producto, delimitando con mucha claridad y precisión los objetivos de la investigación, las preguntas y todos los elementos que se tomarán en consideración para abordar el problema.

2.1 PRECEDENTES DEL PROBLEMA

En Honduras es un gran reto poder satisfacer las necesidades de internet de los clientes, y aún más en el sector rural, ya que se presentan diversos aspectos que no permiten que los usuarios reciban un servicio de mejor calidad, porque en muchos sectores del país no tienen diferentes opciones a conexiones estables, muchas veces por su ubicación geográfica que dificulta el acceso de redes cableadas, teniendo así que buscar otras alternativas que las tecnologías de hoy en día poseen.

2.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

La deficiencia de la estabilidad de la conexión a internet en el área rural afecta en gran manera a los habitantes de la comunidad de Cuyamel, como consecuencia interfiere en los comercios dependientes a una conexión a internet, ya que muchas veces no existe un mantenimiento adecuado, no se cuenta con la suficiente infraestructura y los costos de conexión son elevados, estos factores hacen que los usuarios cuenten con una conexión deficiente, o simplemente no puedan contar con el servicio de conexión a internet.

2.3 JUSTIFICACIÓN

En nuestro país, diversas zonas del territorio hondureño no cuentan con una conexión a la red de servicios de internet, y hoy en día, esto se ha convertido en una necesidad para el ser humano, ya que día a día se necesita estar en comunicación constante para los diferentes fines que estos requieran, ya sea para que el comercio de la comunidad se pueda desempeñar de manera óptima y así brindar un mejor servicio a los habitantes, así mismo,

para que todas aquellas personas que se estén preparando académicamente de forma virtual puedan culminar sus estudios sin interferencias, y por último, que la población pueda estar informada de las últimas noticias y cuente con una comunicación fluida con demás personas fuera de la comunidad, por estas razones, con este proyecto se logrará que la comunidad de Cuyamel, municipio de Omoa, pueda obtener una conexión a internet a través de diversos medios y tecnologías de transmisión, ya que en esta zona no se cuenta con un servicio de conexión a internet de buena calidad.

A raíz de la pandemia del COVID19, se ven negativamente afectados los niños, jóvenes y adultos que actualmente son parte de una modalidad virtual y tanto la deficiencia como la falta de conectividad, interfieren en su educación, ya que se ven afectados al no poder recibir sus clases o realizar los trabajos asignados en ellas, de igual manera, la mayoría de la población de Cuyamel no cuentan con la constante información noticiosa, actualización de datos o comunicación con sus familias y otras personas fuera del sector donde residen, ya que no se cuenta con una conexión que permita cumplir con todos estos aspectos demandados por los habitantes, porque hoy en día, más que un lujo, el estar conectado a internet se ha convertido en una necesidad.

2.4 PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

1. ¿Cuál será el costo que tendrá la inversión de esta conexión por medio de microondas para la comunidad de Cuyamel?
2. ¿Cuál será la altura y potencia necesaria de los equipos requeridos para establecer una conexión entre los diferentes puntos a utilizar en el proceso de conectividad?
3. ¿Cuál es la importancia de establecer las coordenadas de la ubicación física de los puntos a interconectar y los parámetros técnicos para llevar a cabo el diseño de una propuesta de conexión de internet mediante microondas?

2.5 OBJETIVOS

En todo proceso de investigación es de vital importancia el planteamiento de los objetivos, ya que estos son los que determinan el fin primordial del proceso de investigación en este caso, los cuales se plantean de manera general y a la vez objetivos específicos, los cuales, se convierten en uno de los fines primordiales del presente trabajo.

2.5.1 OBJETIVO GENERAL

Desarrollar un estudio de factibilidad, diseño y costo para llevar a cabo la implementación de una conexión a internet mediante el uso de microondas en la comunidad de Cuyamel, municipio de Omoa, departamento de Cortés, Honduras.

2.5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Proyectar el costo de la inversión de la conexión a internet mediante el uso de microondas en la comunidad de Cuyamel, municipio de Omoa, Honduras.
- Estimar la altura de la antena mediante la utilización de software para obtener el parámetro y potencia necesaria de los equipos requeridos en la comunidad de Cuyamel, municipio de Omoa, Honduras.
- Proyectar las coordenadas de la ubicación física de los puntos a interconectar, como parámetros técnicos para el establecimiento del diseño de la propuesta de conexión de internet mediante microondas, en la comunidad de Cuyamel, municipio de Omoa, Honduras.

III. MARCO TEÓRICO

Una herramienta analítica con variaciones y contextos, puede ser aplicado en diferentes categorías de un trabajo, a esto se refiere el presente marco teórico, ya que en él se establece una visión general de las distintas conceptualizaciones en la cual se basa el trabajo de investigación, ya que este es muy fundamental, en él se identifican las fuentes primarias y secundarias del presente, es por eso que en el presente marco teórico se puede identificar: espectro radioeléctrico, medios de transmisión, propagación, sistema de comunicación por microondas y los radioenlaces; dando así, la información elemental que sustenta el trabajo de investigación.

3.1 ESPECTRO RADIOELÉCTRICO

El espectro radioeléctrico es un recurso natural de propiedad exclusiva del estado. El mismo está integrado por toda la gama de radiofrecuencias utilizables para las comunicaciones. La administración y control del espectro radioeléctrico corresponde a CONATEL, la que además tendrá a su cargo la comprobación técnica de las emisiones radioeléctricas y la cancelación de aquellas que no cumplan con los requisitos establecidos por la ley y sus reglamentos. (Comision Nacional De Telecomunicaciones, 2013)

El sector estratégico del espectro radioeléctrico es un conjunto de ondas electromagnéticas que se propagan por el espacio sin necesidad de guía artificial utilizado para la prestación de servicios de telecomunicaciones, radiodifusión sonora y televisión, seguridad, defensa, emergencias, transporte e investigación científica, así como para un elevado número de aplicaciones industriales, científicas y médicas. (Consejo Nacional de Telecomunicaciones; Secretaria Nacional de Telecomunicaciones, 2012)

El espectro radioeléctrico es un eje fundamental para poder comprender el comportamiento de las ondas electromagnéticas, por lo que se define como un conjunto de frecuencias en las cuales se propaga la energía electromagnética a través del espacio. (García Rodrigo & Morales Santiago, 2012)

De esta manera, podemos indicar que el mismo es un recurso natural, el cual, se encuentra limitado, por lo que se debe tener un control de manera que regule y organice el uso del mismo, ya que sin ningún tipo de normas cualquier estación podría emitir a su criterio cualquier frecuencia, y esto traerá como consecuencia el no poder garantizar la fiabilidad de las telecomunicaciones, causando interferencias de manera persistente. Para llevar un control y un mejor manejo de este recursos natural, se tiene como ente principal la Unión Internacional de Telecomunicaciones (ITU), la cual se encuentra ubicada en Ginebra, Suiza, este organismo es el representante de las Naciones Unidad, el cual crea normas y reglas para el uso de las tecnologías de la información y comunicación, también se cuenta con la participación antes mencionada de la Comisión Nacional de Telecomunicaciones (CONATEL), la cual se encarga a nivel nacional de hacer cumplir todas estas normas y leyes ya establecidas.

Para poder tener un mejor entendimiento del espectro, se tomará la división de bandas de frecuencia, la cual se puede apreciar en la tabla 1, entre la más utilizada se tiene aquella que se realizó en el año de 1953 por el Consejo Consultivo Internacional de Radiocomunicación (CCIR).

Tabla 1- Espectro Radioeléctrico

Banda		Frecuencia	Longitud de onda	Características	Aplicaciones
VLF	Very Low Frequencies	10 kHz a 30 kHz	30 km a 10 km	Se propaga por onda de tierra, atenuación débil. Estables	Enlaces de radio a gran distancia
LF	Low Frequencies	30 kHz a 300 kHz	10 km a 1 km	Similar a la anterior, pero de características menos estables.	Enlaces de radio a gran distancia, ayuda a la navegación aérea y marítima
MF	Medium Frequencies	300 kHz a 3 MHz	10 km a 1 km	Similar a la anterior, pero con absorción elevada durante el día. Prevalece propagación ionosférica durante la noche.	Radiodifusión
HF	High Frequencies	3 MHz a 30 MHz	100 m a 10 m	Prevalece propagación ionosférica con fuertes variaciones estacionales y en las diferentes horas del día y de la noche	Comunicaciones de todo tipo a media y larga distancia.
VHF	Very High Frequencies	30 MHz a 300 MHz	10 m a 1 m	Prevalece propagación directa, ocasionalmente propagación ionosférica o troposférica.	Enlaces de radio a corta distancia, televisión, radio FM.
UHF	Ultra High Frequencies	300 MHz a 3 GHz	1 m a 10 cm	Solamente propagación directa, posibilidad de enlaces por reflexión o a través de satélites artificiales.	Enlaces de radio, ayuda a la navegación aérea, radar, televisión.
SHF	Super High Frequencies	3 GHz a 30 GHz	10 cm a 1 cm	Como la anterior	Radar, enlaces de radio
EHF	Extra High Frequencies	30 GHz a 3,000 GHz	1 cm a 0.1 mm	Como la anterior	Como la anterior

Fuente: (García Rodrigo & Morales Santiago, 2012). Instalaciones de radiocomunicaciones.

En la tabla 1 se demuestra el espectro radioeléctrico tomando como elemento fundamental las diferentes bandas, las cuales permiten tener una visión amplia de su impacto en la transmisión inalámbrica que tendrán los dispositivos.

3.2 MEDIOS DE TRANSMISIÓN

Dependiendo del rango de frecuencias utilizado para transmitir, el medio de transmisión puede variar, por ejemplo, puede ser ondas de radio, las microondas terrestres o por satélite, dependiendo del medio, la red inalámbrica variará sus características.

3.2.1 ONDAS RADIOELÉCTRICAS

A estas ondas también se les conoce con el nombre de ondas hertzianas, las cuales poseen un rango de frecuencia que puede llegar a los 3,000 GHz, también, puede viajar de diferentes maneras y sin necesidad de cables dentro de un espectro electromagnético. (Cajo, Zúñiga, & Huilcapi, 2016).

3.2.2 SISTEMAS DE RADIO POR ONDA DE TIERRA

Los sistemas de radio por onda de tierra tienen buen alcance cuando se empleando ondas de radio de relativamente baja frecuencia, en el rango de 50 kHz a 2 MHz. Las antenas de radio de onda de tierra de radiodifusión comúnmente son mástiles de radio muy altos. (Herrera Pérez, Introducción a las Telecomunicaciones Modernas, 2004).

3.2.3 RADIO DE ALTA FRECUENCIA

Las ondas de radio en la banda de frecuencia de 3-30 MHz se propagan sobre mayores distancias en el modo onda de cielo. La señal se transmite mediante la utilización de una antena direccional, a través de la ionósfera, las capas de esta hacen que la señal se refracte y que sea reflejada de regreso a la superficie de la tierra, este efecto se puede visualizar en la ilustración 1.

Uno de los inconvenientes de este tipo de radio es su sensibilidad a las condiciones del tiempo en la ionósfera. Este fue uno de los primeros métodos que se emplearon para el servicio telefónico internacional. (Herrera Pérez, Introducción a las Telecomunicaciones Modernas, 2004)

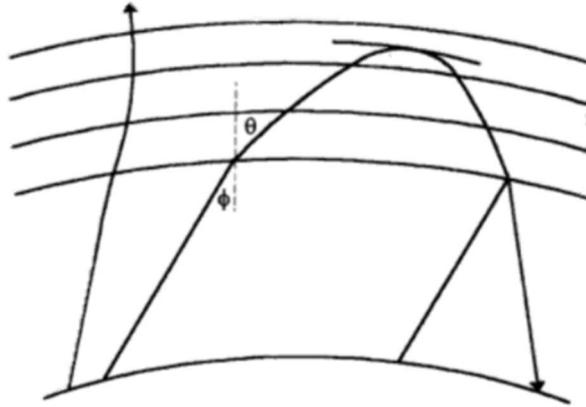


Ilustración 1-Ondas de cielo producidas por refracción

Fuente: (Herrera Pérez, Introducción a las Telecomunicaciones Modernas, 2004)

La ilustración 1 demuestra el funcionamiento de las ondas de cielo que se producen por refracción, donde las ondas de radio de alta frecuencia rebotan en la ionosfera, se refracta y luego se refleja en la superficie de la tierra.

3.2.4 RADIO DE MUY ALTA FRECUENCIA Y DE ULTRA ALTA FRECUENCIA

Utilizan frecuencias arriba de 30 MHz, por esta razón, el espectro de Muy Alta frecuencia (MAF) y de Ultra Alta Frecuencia (UAF), se emplean principalmente para los sistemas de radiotransmisión por la línea de vista. Estos sistemas de radio cada día se han hecho más populares como base para una gran cantidad de aplicaciones, dentro de las cuales se pueden mencionar las siguiente:

- Estaciones locales de radio.
- Radio de banda civil (CB).
- Radio celular (teléfonos móviles).
- Radio de búsqueda.

La ventaja de la utilización del radio de MAF y UAF es que permite la utilización de antenas mucho más pequeñas. Gracias a este radio se han hecho posible los aparatos portátiles de comunicaciones móviles de amplio alcance. (Cerdá Filiu & Hidalgo Iturralde, 2015)

Este tipo de sistemas son muy utilizado en la telefonía celular, utilizan varios transmisores los cuales cubren cada uno, una pequeña área llamada célula, cada célula tiene un rango de cobertura determinado para realizar llamadas telefónicas, las células adyacentes emplean diferentes bandas, y de esta forma, poder evitar radio interferencia entre señales en la frontera de cada una. (Herrera Pérez, Tecnologías y Redes de transmisión de datos., 2010).

3.2.5 RADIO DE MICROONDAS

Microondas (MO) es el nombre que se le da a las ondas de radio que poseen una frecuencia mayor a los 1,000 kHz y cuya longitud de onda es de unos cuantos centímetros. Estos sistemas de MO se emplean comúnmente como medios de transmisión de alta capacidad de punto a punto en las redes de telecomunicaciones, un ejemplo que se puede brindar son los enlaces troncales de alta capacidad entre ciudades de la red telefónica. La alta frecuencia y la longitud corta de onda del radio de MO, permite la elaboración de sistemas de radio de alta capacidad con el empleo de antenas relativamente pequeñas, este menor tamaño genera beneficios en términos de costo, instalación y mantenimiento. (Herrera Pérez, Introducción a las Telecomunicaciones Modernas, 2004, pág 158).

3.2.6 MICROONDAS TERRESTRES

Estas microondas comprenden las frecuencias desde 1 a 300 GHz, en las cuales se utilizan antenas parabólicas con aproximadamente un diámetro de tres metros, esto varía dependiendo de la frecuencia de operación del sistema. Posee una cobertura de kilómetros, con la desventaja de que tanto el emisor como el receptor deben estar perfectamente alineados. Por esta razón se opta utilizar en enlaces punto a punto en distancias cortas hasta un máximo de 140 km. Durante las lluvias se produce una atenuación, y estas deben operar a una frecuencia más elevada. (García Higuera & Castillo García, 2007).

3.2.6.1 Aplicaciones de las microondas terrestres

Las principales aplicaciones de un sistema de microondas terrestre son las siguientes:

- Telefonía básica
- Datos
- Telégrafo/Telex
- Canales de televisión
- Video
- Telefonía celular

El clima y el terreno son los factores a considerar antes de instalar un sistema de microondas. Las consideraciones en terreno incluyen la ausencia de montañas o grandes cuerpos de agua, los cuales pueden ocasionar reflexiones de múltiples trayectorias. (Zavala Angamarca, 2013).

3.2.7 SISTEMAS DE SATÉLITES

Este tipo de transmisión es uno de los mejores medios de comunicación a larga distancia, en lugares de difícil alcance o ya sea alrededor de la tierra. Se utiliza de manera eficaz en la radiodifusión de una misma señal hacia una gran cantidad de estaciones repetidoras. Al momento de utilizar este tipo de satélite en redes de telecomunicaciones, este se equipa con antenas de microondas para permitir el radio contacto de línea de vista entre el satélite y otras antenas ubicadas en la estación terrena, como se puede observar en la ilustración 2. (Ponce, Molina Tortosa, & Mompó Maicas, 2015).

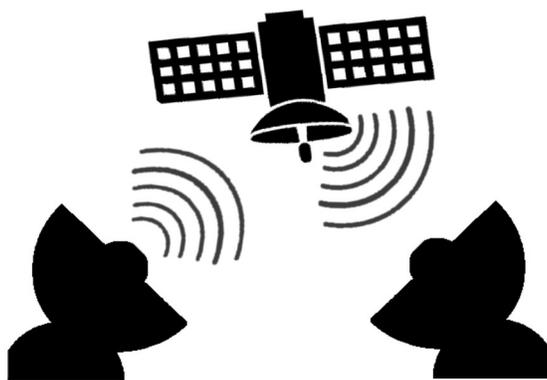


Ilustración 2-Sistema de transmisión vía satélite

Fuente: Elaboración propia

En la ilustración 2 se aprecia el funcionamiento de los sistemas de satélites, en donde se ejemplifica la salida de la señal de la antena transmisora dirigida hacia el satélite, el cual funciona como un repetidor, el cual envía la señal de la antena transmisora a la estación terrena donde está ubicada la antena receptora.

3.3 MEDIOS INALÁMBRICOS

Los medios inalámbricos son los que transportan las señales sin necesidad de utilizar ningún tipo de cable, ya que estas mismas se propagan libremente a través del aire o el vacío. Estas señales electromagnéticas representan los dígitos binarios de las comunicaciones de datos mediante frecuencias de radio y de microondas.

El sistema inalámbrico no se limita a conductores o canaletas, como en el caso de los medios de fibra o de cobre. De todos los medios, los inalámbricos proporcionan las mayores opciones de movilidad. Además, la cantidad de dispositivos con tecnología inalámbrica aumenta continuamente. Por estos motivos, la tecnología inalámbrica se convirtió en el medio de preferencia para las redes domésticas. A medida que aumentan las opciones de ancho de banda de red, la tecnología inalámbrica adquiere popularidad rápidamente en las redes empresariales. (CCNA Cisco Certified Network Academy, 2021)

Toda vez que la señal se propaga a través de un medio inalámbrico es de naturaleza electromagnética, es decir, ondas a base de campos eléctricos y magnéticos que se conocen comúnmente como ondas de radio.

El radio es una forma efectiva de comunicación que puede resolver los problemas que a continuación se mencionan:

- Comunicación de cualquier tipo de información, ya sea esta análoga o digital.
- Comunicación con regiones difíciles, en las cuales el tendido de cable y el mantenimiento no son eficientes.
- Comunicación a cualquier distancia.

En la transmisión por radio, las ondas electromagnéticas se producen mediante la utilización de antenas y una fuente de corriente alterna normalmente de alta frecuencia. Al conectarse la fuente con la antena, esta se encarga de convertir energía eléctrica en energía electromagnética, es decir, ondas de radio, las cuales poseen la propiedad de propagarse a través del espacio libre. De esta forma, la señal de alta frecuencia que se genera se modula con la información que se desea transmitir, las ondas de radio llevarán impresa esta información, pudiendo transportarla a cualquier punto. (Herrera Pérez, 2010).

El alcance que posea la transmisión dependerá de la potencia de la señal modulada que se genera, a una mayor potencia, más lejos se podrá transmitir la información. Se conoce como estación transmisora a la fuente de radio conectada a la antena, dependiendo de las ondas que se propagan, se pueden clasificar las antenas de las siguientes maneras:

- Baja frecuencia.
- De alta, muy alta y ultra alta frecuencia.
- De microondas.
- De dispersión troposférica.
- De satélite.

3.3.1 PROPAGACIÓN

Al momento que las ondas de radio se transmiten desde una antena, estas se dispersan y se propagan como ondas que se forman en un estanque al momento de lanzar una piedra al agua. Estas se dispersan e irradian como frente de ondas esféricas, las ondas viajan en sentido perpendicular a los frentes de ondas tomando la dirección que se muestra en la ilustración 3.

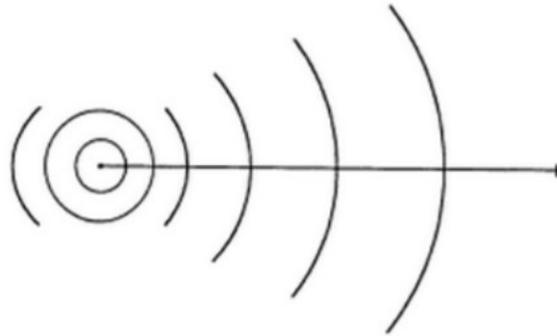


Ilustración 3-Propagación de ondas de radio

Fuente: (Herrera Pérez, Introducción a las Telecomunicaciones Modernas, 2004)

En la ilustración 3 demuestra específicamente el proceso de propagación de ondas, con el fin de llegar a una antena receptora, la cual posee una similitud a las ondas formadas en un estanque al momento de lanzar una piedra al agua.

Las ondas de radio se pueden reflejar, refractar y difractar, en la ilustración 4 se puede ver un ejemplo de diferentes trayectorias de ondas entre transmisión recepción, las cuales son el resultado de estos fenómenos de propagación.

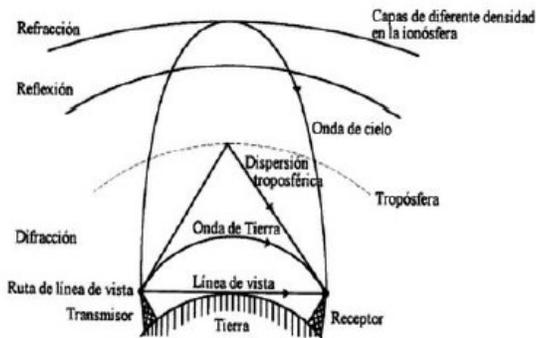


Ilustración 4-Modos de propagación de ondas

Fuente: (Herrera Pérez, Introducción a las Telecomunicaciones Modernas, 2004)

Un sistema de transmisión por radio se diseña para aprovechar algunas de las formas de propagación o dispersión, de las cuales, se muestran cuatro formas específicas, como ser:

- Propagación por línea de vista.
- Propagación por onda de tierra.
- Propagación por onda troposférica.
- Propagación por onda de cielo.

3.3.1.1 Propagación por línea de vista

Se basa en que las ondas viajan en línea recta, el receptor debe estar dentro de la línea de vista del transmisor, su alcance está limitado a la curvatura de la tierra, ya que a mayores distancias el alcance de una señal se va perdiendo en el horizonte. Se debe tener en cuenta que este tipo de transmisión es la más sencilla, en este tipo de propagación no debe existir obstáculo visible desde el receptor hasta el transmisor. (Tomasi, 2003)

3.3.1.2 Propagación por onda de tierra

La propagación por onda de tierra se lleva a cabo mediante difracción utilizando la tierra como guía de onda, esta se utiliza para señales de radio con baja frecuencia. La onda se propaga a través de la superficie de la tierra, las frecuencias bajas denotan mayor alcance de distancia. (Punguil Coro, 2015).

3.3.1.3 Propagación por onda troposférica

Es una forma de reflexión de ondas de radio, cuando la señal choca con la troposfera, se refleja y vuelve a la tierra, este modo funciona de manera eficiente en el rango de frecuencias de 300 MHz a 3 GHz de las ondas de ultra alta frecuencia. Este tipo de propagación se utiliza para ondas de radio con ultra alta frecuencia. (Punguil Coro, 2015).

3.3.1.4 Propagación por onda de cielo

Es ocasionada por la refracción o reflexión de las ondas de radio en la atmosfera, provocadas por las diferentes densidades en la ionosfera, lo cual, da como resultado la reflexión de la onda regresando a la tierra. (Herrera Pérez, 2010).

3.4 SISTEMA DE COMUNICACIÓN POR MICROONDAS

Un sistema de comunicación por microondas tiene como finalidad el poder transmitir información desde una fuente hasta un destinatario, por medio de un canal, existen tres elementos que componen una comunicación por microondas, tales como:

Un emisor o fuente de información, el cual inicia el proceso de comunicación construyendo un mensaje y enviándolo a un receptor.

El receptor, este analiza, reconstruye los significados del mensaje y sintetiza, luego se convierte en un emisor al responder el mensaje que le fue enviado.

El canal de transmisión, es el medio que soporta la propagación de señales electromagnéticas. Los canales de transmisión pueden ser cables metálicos, fibra óptica, los radios transmisores, la transmisión por satélite o por microondas. (Tercero Carrasco & Morales Rivera, 2013).

3.5 RADIOENLACE

Una comunicación radioenlace se define como una interconexión realizada entre las terminales de telecomunicación mediante ondas electromagnéticas, a través de un medio no guiado, también llamadas STL (Studio Transmitter Link), con el fin de transmitir información entre dos puntos separados. La frecuencia en la que trabaja un radioenlace está en el rango de los 2 GHz hasta los 50GHz, con una longitud de onda pequeña. Estos sistemas de comunicación son sensibles a los factores climáticos, además, necesitan tener una línea de vista directa entre las antenas. Si se da el caso de que no exista línea de vista, se utilizan antenas repetidoras para poder implementar el radioenlace. (Gonzalez Menendez, 2018).

3.5.1 TIPOS DE CONEXIÓN DE UN RADIOENLACE

Existen dos tipos de conexión que se pueden realizar en un radioenlace, esto dependiendo de la necesidad o el área que sea necesario cubrir, también de la distancia de los puntos a interconectar, estas pueden ser:

- Enlaces punto a punto.

- Enlace punto a multipunto.

3.5.1.1 Enlaces Punto a Punto (PTP)

Los enlaces punto a punto se utilizan para un tipo de arquitectura de red específica, en la cual, cada canal de datos se usa para comunicar únicamente dos nodos. Este enlace permite establecer comunicación entre dos puntos fijos situados sobre la superficie terrestre, a través de la propagación de ondas electromagnéticas en el espacio libre.



Ilustración 5- Enlace Punto a Punto

Fuente: (e-Global SMART COMMUNICATIONS, 2021)

La ilustración 5 ejemplifica el funcionamiento de un enlace punto a punto, en donde ambos nodos poseen una comunicación directa, es decir, poseen una línea de vista sin ningún obstáculo que impida o afecte su comunicación.

En los enlaces punto a punto se pueden dar diferentes tipos de enlaces que interconectan los nodos, como los que se pueden observar en la tabla 2.

Tabla 2- Tipos de enlaces que interconectan los nodos

Simplex	La transacción solo se efectúa en un solo sentido.
Half-duplex	La transacción se realiza en ambos sentidos, pero de forma alternativa.
Full-duplex	La transacción se puede llevar a cabo en ambos sentidos simultáneamente.

Fuente: (Ruiz Echeverría, 2017).

La tabla 2 permite ver los diferentes tipos de enlaces que interconectan a los nodos en un enlace punto a punto, en el cual se encuentra el enlace simplex, en el que la comunicación solamente es un sentido, es decir, solo transmisión o solo recepción, luego esta half-duplex,

en el que se puede transmitir y recibir información, esperando que se termine de transmitir o recibir para llevar a cabo la actividad contraria, y por ultimo está el enlace full-duplex, el cual permite transmitir y recibir información de forma simultánea y que hoy en día es la que más se utiliza.

Tabla 3- Ventajas y desventajas de los enlaces punto a punto

Ventajas	Desventajas
Los dispositivos en red actúan como socios iguales o pares entre sí.	Capacidad limitada.
Son fáciles de instalar y operar.	Inseguridad.
Su costo es menor.	La administración de la red debe hacerse en cada máquina.
Permite compartir datos y recursos.	Su eficiencia decrece rápidamente a medida que la cantidad de dispositivos en la red aumenta.

Fuente: (Ruiz Echeverría, 2017).

La tabla 3 da a conocer cuáles son las ventajas y desventajas que posee un enlace punto a punto, la cual, permite analizar qué tan efectivo es este enlace y analizar si es la opción que se presenta para solucionar determinado problema.

3.5.1.2 Enlaces Punto a Multipunto (PMTP)

Estos enlaces son diseñados como un sistema sencillo de instalar, el cual permite la comunicación desde un punto central a varios puntos remotos, como se muestra en la ilustración 6.



Ilustración 6- Enlace punto a multipunto

Fuente: (WIFIMIRAMAR, 2021)

La ilustración 6 muestra de forma gráfica el funcionamiento de un enlace punto a multipunto, el cual muestra el punto central que envía la información hacia diferentes puntos cercanos a la ubicación de este punto

Se recomienda realizar este tipo de enlace para los siguientes lugares:

- Universidades.
- Grandes corporaciones.
- Edificios gubernamentales.
- Edificios municipales.
- Redes inalámbricas que cubren toda la ciudad.

3.5.2 ANTENA

Es un dispositivo o elemento que tiene la función de transmitir o recibir ondas electromagnéticas, esta toma un tipo de energía a la entrada y la transforma en otra forma de energía distinta a la salida. Cuando genera ondas electromagnéticas, convierte señales eléctricas en ondas electromagnéticas y cuando recoge ondas electromagnéticas las transforma en señales eléctricas.

3.5.3 CLASIFICACIÓN DE LAS ANTENAS

Las antenas han venido evolucionando tanto en diseño, tamaño y cobertura, por lo que actualmente se cuenta con una gran cantidad de antenas, clasificándolas según su forma de radiación y su construcción.

Dentro de algunos tipos de antenas que se pueden mencionar están los siguientes:

- Antena directiva
- Antena omnidireccional
- Antena sectorial

3.5.3.1 Antena *directiva*

También conocida como antena direccional o antena unidireccional, esta orienta la señal en una dirección muy determinada y de largo alcance. Esta antena actúa como un foco que

emite un haz de luz hacia una dirección determinada, pero de forma intensa, es decir, de gran alcance. Se puede poner como ejemplo de este tipo de antena las antenas parabólicas. Están perfectamente diseñadas para operar bajo las condiciones medioambientales más severas y se recomiendan para uso en equipos punto a punto. (CCNA Cisco Certified Network Academy, 2007)

3.5.3.2 Antena Omnidireccional

Emite señal en todas direcciones con un amplio haz, pero de corto alcance. Las antenas omnidireccionales transmiten la información a 360°, así como se muestra en la ilustración 7. (Barbecho, 2011)

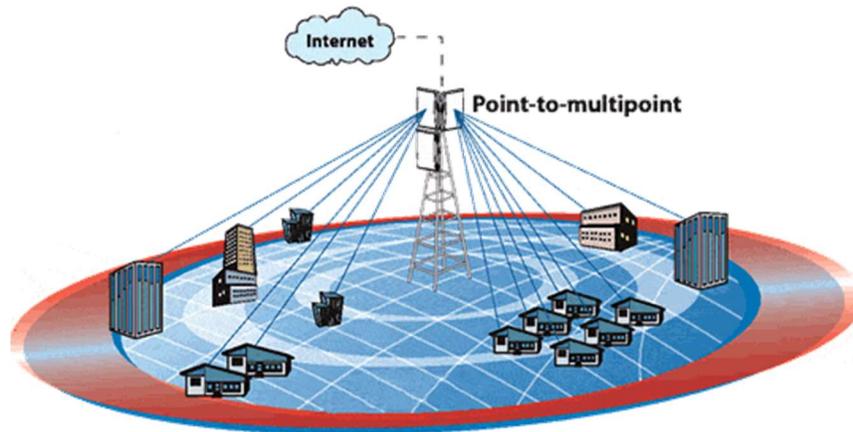


Ilustración 7- Funcionamiento de la antena omnidireccional

Fuente: (Barbecho, 2011)

La ilustración 7 muestra cómo funciona una antena omnidireccional, la cual transmite información a 360° teniendo un mayor alcance que la antena direccional.

3.5.3.3 Antena Sectorial

Las antenas sectoriales emiten un haz más amplio que una direccional pero no tan amplio como una omnidireccional, irradian principalmente en un área específica. El haz puede ser tan amplio como 180° o tan angosto como 60°, es decir, si queremos obtener una cobertura de 360° debemos instalar dos antenas sectoriales de 180° o seis antenas sectoriales de 60°. (Monachesi, Frenzel, Chaile, Carrasco, & Gómez López, 2011).

3.5.3.4 Antena Isotrópica

Es una antena hipotética sin pérdida que tiene intensidad de radiación igual en todas direcciones. (Institute of Electrical and Electronics Engineers, 1979).

3.5.4 PARÁMETROS DE LAS ANTENAS

Se debe de tener en cuenta que, al momento de utilizar las antenas, hay diversos parámetros que son necesarios conocer para que exista un correcto funcionamiento de estas y la comunicación sea efectiva.

3.5.4.1 Ángulo de Elevación

Se puede definir como el ángulo formado entre el plano horizontal local y la recta que se da al propagarse las ondas electromagnéticas. (Freeman, 2007).

3.5.4.2 Ángulo de Azimut

Es el ángulo de apuntamiento horizontal de una antena y se mide desde el norte geográfico en dirección de las manecillas del reloj. (Terán Subía & Andrade Pazmiño, 2012)

3.5.4.3 Ganancia

Es la relación entre la densidad de potencia radiada en la dirección del máximo a una distancia R y la potencia total entregada a la antena, dividida por el área de una esfera de radio R . la unidad de medida de la ganancia es el dBi. (Huidobro, 2013).

3.5.4.4 Ancho de banda

Es el margen de frecuencias en el cual los parámetros de la antena cumplen unas determinadas características y el funcionamiento de la antena es satisfactorio. El ancho de banda se mide en hercios (Hz). (Vela Remache, 2015).

3.5.4.5 Directividad

Es la capacidad que posee una antena de transmitir o recibir la energía radiada en determinada dirección. Por lo general, esta es una relación de intensidad de radiación en

una dirección determinada en comparación a la intensidad promedio de una antena isotrópica. (Huidobro, 2013).

3.5.4.6 Polarización

La polarización puede ser lineal, circular y elíptica, es la orientación que toman las ondas electromagnéticas en el campo eléctrico al salir irradiadas de una antena y propagarse en el espacio libre. (Vela Remache, 2015).

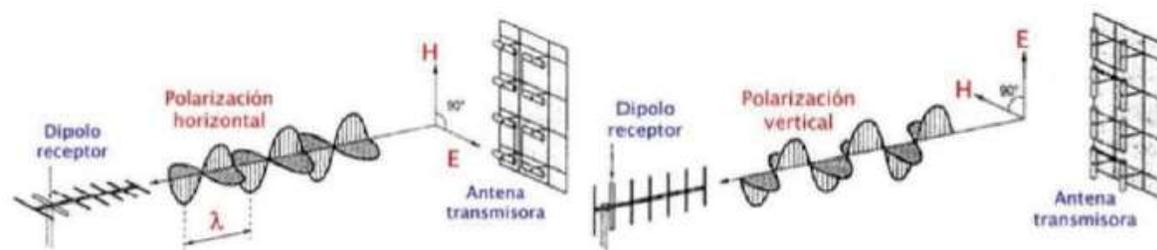


Ilustración 8- Polarización horizontal y vertical de una antena

Fuente: (Vela Remache, 2015)

La ilustración 8 muestra tanto la polarización horizontal como la vertical que puede tener una antena, en la cual, será distinta la forma que toman las ondas al momento de ser irradiadas o transmitidas desde una antena hacia el espacio libre.

3.5.4.7 Eficiencia

La eficiencia de una antena es la potencia irradiada por la antena entre la potencia total de entrada. La eficiencia se puede calcular mediante la ecuación 1.

$$\eta = \frac{P_{rad}}{P_{ent}} \times 100$$

Ecuación 1- Ecuación de eficiencia

Fuente: (Tomasi, 2003)

Donde:

η = Eficiencia de la antena en porcentaje

P_{rad} = Potencia irradiada en watts

P_{ent} = Potencia de entrada en watts

3.5.4.8 Potencia

La potencia de una antena es la intensidad con la que se propagan las ondas electromagnéticas en el espacio libre. Para que las antenas transfieran la mayor cantidad de potencia se debe de acoplar adecuadamente la línea de transmisión. Del lado de transmisión se le llama potencia radiada y en el lado del receptor se le conoce como potencia recibida. (Murillo Fuentes, 2013)

3.5.4.9 Sensibilidad

Es el parámetro en el receptor de menor valor de potencia que se es necesario para poder decodificar la señal. (Vela Remache, 2015).

3.5.4.10 Zona de Fresnel

La zona de Fresnel es el volumen de espacio entre el emisor de una onda electromagnética y un receptor, de modo que el desfase de las ondas en dicho volumen no supere los 180°. La onda electromagnética que viaja desde una estación transmisora hacia una estación receptora tiene que encontrarse libre de obstáculo con el objetivo de que la señal no se reduzca significativamente. Es aquí donde se concentra la mayor potencia de la señal que viaja de la antena transmisora hacia la antena receptora, cuya primera zona de Fresnel (por lo menos el 60% de ella) tiene que estar libre de obstáculos, de esta manera se garantiza que la señal llegue a la estación receptora con buena potencia para llevar a cabo un enlace ideal. (Tercero Carrasco & Morales Rivera, 2013).

Para calcular la primera zona de Fresnel se utiliza la ecuación 2, la cual describe una elipse.

$$R = n \sqrt{\frac{d}{4f}}$$

Ecuación 2- Zona de Fresnel

Fuente: (Poltronieri, 2011)

Donde:

R= Radio de la primera zona de Fresnel.

n= Constante de la zona de Fresnel, valor 17.32

d= Distancia del punto A al punto B, en kilómetros.

f= Frecuencia de la transmisión del enlace (GHz).

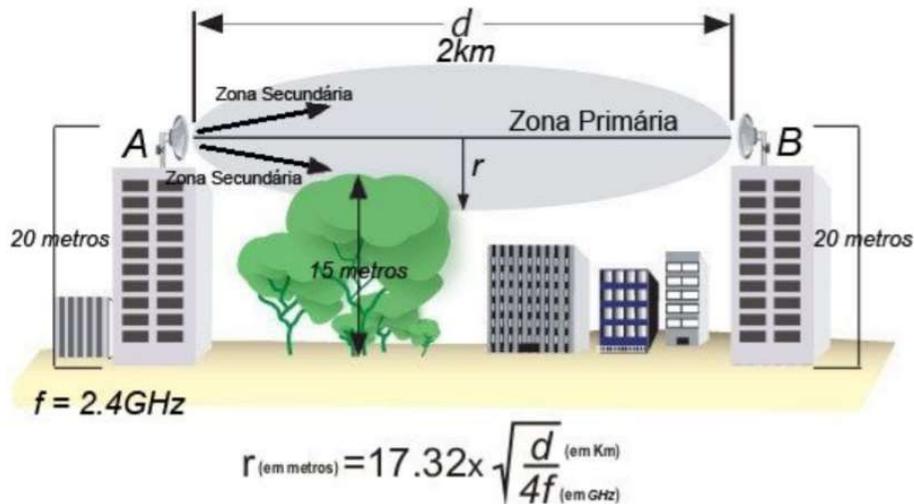


Ilustración 9- Zona de Fresnel

Fuente: (Poltronieri, 2011)

La ilustración 9 permite visualizar cómo funciona la zona de Fresnel, en la cual se muestra ambos puntos de transmisión y el espacio existente entre ellos, verificando que el espacio existente entre ambos puntos esté libre de objetos que interrumpan su comunicación.

3.6 REDES INALÁMBRICAS

Las redes inalámbricas son redes que utilizan ondas de radio para poder conectar los distintos dispositivos, si necesidad de utilizar cables de ningún tipo. Las redes inalámbricas sirven para diferentes propósitos, en algunos casos se utilizan para la sustitución a las redes cableadas, mientras que, en otros casos, se utilizan para brindar acceso a datos corporativos desde ubicaciones remotas. (Salazar, 2021).

3.6.1 CLASIFICACIÓN DE LAS REDES INALÁMBRICAS

Las redes inalámbricas pueden ser clasificadas en cuatro grupos, según sea el área de aplicación y el alcance de la señal, estas pueden ser:

- Redes Inalámbricas de Área Personal (WPAN).
- Redes Inalámbricas de Área Local (WLAN).
- Redes Inalámbricas de Área Metropolitana (WMAN).
- Redes Inalámbricas de Área Amplia (WWAN).

De igual forma, las redes inalámbricas pueden dividirse también en dos grandes segmentos, de corto y de largo alcance. Inalámbrica de corto alcance se refiere a las redes confinadas en un área limitada. Esto se aplica a las redes de área local (LAN), como edificios corporativos, los campus escolares y universitarios, fábricas o casas, así como a las redes de área personal (PAN), donde los ordenadores portátiles necesitan estar muy cerca entre sí para comunicarse. En las redes de largo alcance, la conectividad es típicamente proporcionada por las empresas que comercializan la conectividad inalámbrica como un servicio. Estas redes abarcan grandes áreas, tales como un área metropolitana (WMAN). La red de largo alcance más común es la red inalámbrica de área amplia (WWAM). (Salazar, 2021).

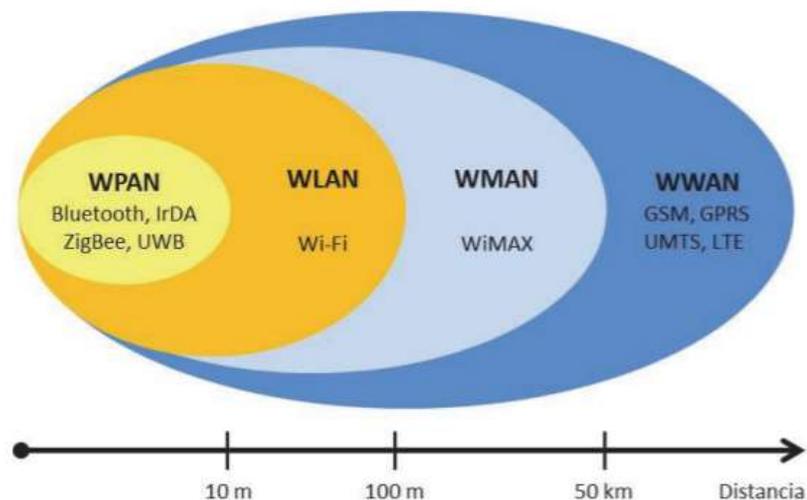


Ilustración 10- Clasificación de las redes inalámbricas

Fuente: (Salazar, 2021).

La ilustración 10 ayuda a comprender el alcance que pueden llegar a tener las redes inalámbricas, donde la WPAN es la de menor alcance y la WWAN es la de mayor alcance, cada una de ellas se utiliza para diferentes áreas que se necesite cubrir.

3.6.1.1 Redes Inalámbricas de Área Personal (WPAN)

Este tipo de redes inalámbricas permiten la comunicación en un rango de distancias muy corto, unos 10 metros. Estas redes inalámbricas implican poca infraestructura o conectividad directa fuera del enlace establecido, lo cual, permite tener soluciones pequeñas y de bajo costo.



Ilustración 11- Redes inalámbricas de área personal (WPAN)

Fuente: (Chávez Zambrano & Tuárez Anchundia, 2016).

En la ilustración 11 se observa cómo funcionan las redes inalámbricas de área personal, estas son utilizadas para distancias cortas, con un máximo de 10 metro, permitiendo soluciones de menor costo.

3.6.1.2 Redes Inalámbricas de Área Local (WLAN)

Estas redes inalámbricas están diseñadas para brindar acceso inalámbrico en zonas con un rango de hasta 100 metros. Se utilizan comúnmente en el hogar, escuelas, sala de ordenadores. Proporciona a los usuarios la capacidad de tener una mayor movilidad dentro de un área de cobertura local y permanecer conectados a la red. Las WLAN se basan en el estándar 802.11 del IEEE y son comercializadas bajo la marca WI-FI.



Ilustración 12- Esquema de una WLAN en el hogar

Fuente: (Salazar, 2021).

La ilustración 12 permite ver el funcionamiento de las redes inalámbricas de área local, utilizadas para cubrir zonas de hasta 100 metros, siendo lugares donde las WPAN no logre solventar el problema.

3.6.1.3 Redes Inalámbricas de Área Metropolitana (WMAN)

Las WMAN se basan en el estándar 802.16 del IEEE, comúnmente se le denomina WiMAX, que es una tecnología de comunicaciones con una arquitectura punto a multipunto, orientada a brindar una alta velocidad de transmisión mediante redes inalámbricas de área metropolitana, WiMAX es similar al Wi-Fi, pero proporciona cobertura a distancias mayores. Esto permiten que las redes inalámbricas LAN de un tamaño menor, puedan ser interconectadas por WiMAX creando una gran WMAN. La creación de redes entre ciudades puede obtenerse sin la necesidad de utilizar cableado de alto costo.

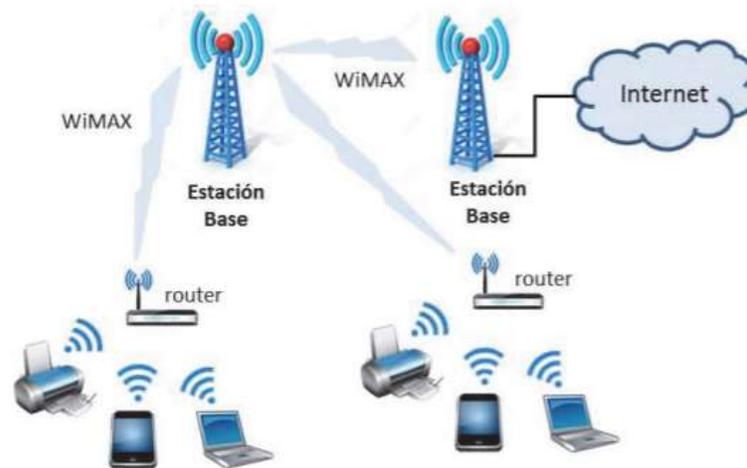


Ilustración 13- Diagrama de una red WiMAX

Fuente: (Salazar, 2021).

La ilustración 13 es un diagrama de una red WiMAX, que ayuda a entender su funcionamiento, el cual se utiliza en una arquitectura punto a multipunto. Las redes inalámbricas de área metropolitana se utilizan para cubrir un área de hasta 50 kilómetros.

3.6.1.4 Redes Inalámbricas de Área Amplia (WWAN)

Las redes inalámbricas de área amplia se pueden extender más allá de 50 kilómetros y pueden mantener en comunicación grandes áreas, como ser ciudades o países, a través de los múltiples sistemas de satélites, ubicaciones con antena atendidos por un proveedor de servicios de internet o empresas de telecomunicaciones.

3.7 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LAS REDES INALÁMBRICAS

Hoy en día, todas las tecnologías presentan diversas ventajas y desventajas, que permiten poder seleccionar la tecnología o el equipo que más se adecue a las necesidades y que se resuelva de la forma esperada el problema que se presente.

En la tabla 4 y en la tabla 5 se pueden observar las ventajas y desventajas que poseen las redes inalámbricas.

Tabla 4- Ventajas de las redes inalámbricas

Ventaja	Descripción
Diseño	Los dispositivos receptores son de menor tamaño y de mayor movilidad.
Movilidad	El uso de redes inalámbricas evita múltiples accidentes con los cables que se pueden encontrar.
Libertad de desplazamiento	Permite que los usuarios finales puedan desplazarse cierta distancia sin perder conectividad.
Menor tiempo de planificación	No se deben realizar esquemas para ubicar los cables y dispositivos finales, únicamente se debe planificar el lugar de cobertura de la red.
Expansión	Permite hacer el proceso de expansión mucho más rápido.
Reubicación	Se pueden reubicar las estaciones de trabajo con mayor facilidad.

Fuente: (Varela & Domínguez, 2002)

La tabla 4 presenta todas las ventajas que poseen las redes inalámbricas, de igual forma se presenta una descripción de estas ventajas para un mayor entendimiento de las mismas

Tabla 5- Desventajas de las redes inalámbricas

Desventaja	Descripción
Costos	Muchos de los equipos poseen un precio alto.
Restricciones	Estas redes trabajan bajo una banda del espectro radioeléctrico reducida.
Interferencias	Pueden provocar interferencia con las redes de comunicación policial.
Radiaciones	Las radiaciones usadas en las redes inalámbricas pueden ser peligrosas.

Fuente: (Varela & Domínguez, 2002)

La tabla 5 presenta las desventajas de las redes inalámbricas, con su respectiva descripción, las cuales facilitan la elección si es recomendable la utilización de estas redes.

La información presentada muestra una teoría científica que nos permite tener una conceptualización más amplia del proceso y de los avances que ha tenido y sigue teniendo la tecnología en el mundo actual.

IV. METODOLOGÍA

La metodología aplicada en proceso de investigación, es considerado como el conjunto coherente y racional de los procedimientos y técnicas que se aplican de manera ordenada y sistemática en la realización de un estudio de investigación; la metodología consiste en determinar la forma en lo que los investigadores obtienen, ordenan y analizan los datos obtenidos en el proceso.

4.1 ENFOQUE

La tradición científica está llena de un conjunto de métodos y técnicas de investigación para la recolección y el análisis de datos, pudiendo ser cuantitativo, cualitativo o mixto. Según (Hernandez, Fernández y Baptista, 2015), las investigaciones cuantitativas son en las cuales se disponen de variables que pueden asumir valores en una escala de variación, registrada normalmente con un instrumento normalizado, los artefactos o las técnicas normalmente contienen unidades de medida estándares que permiten hacer comparaciones.

Las investigaciones estadísticas, contables, pero también en ciencia básica y tecnología incluyendo los diseños ingenieriles, aplican normalmente este tipo de técnicas para determinar dimensiones y factores que pueden considerarse como una variable, la presente investigación está también definida como una investigación cuantitativa, ya que se tendrán razones y tasas financieras (retorno de inversión, valor actual neto), pero también dimensiones (áreas, cobertura, potencia, transmisión).

4.2 VARIABLES DE INVESTIGACIÓN

Las variables de investigación son un conjunto de características o propiedades ya sea de carácter cuantitativo o cualitativo, las cuales, influyen significativamente en el proceso que se está estudiando o investigando. Según (Hernandez, Fernández y Baptista, 2015), las variables de investigación son propiedades que pueden fluctuar y cuya variación es susceptible de medirse u observarse. Estas variables se dividen en variables independientes y variable dependiente, esta última está íntimamente ligada a las variables independientes.

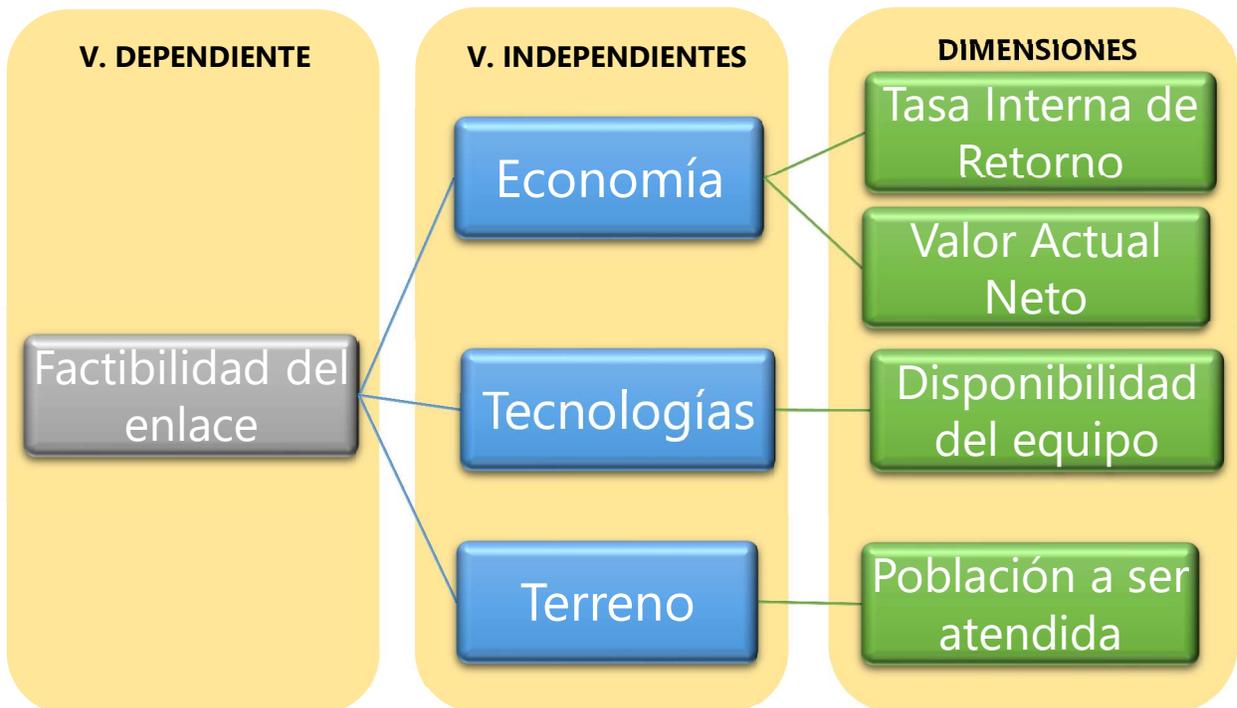


Ilustración 14-Variables de Investigación

Fuente: Elaboración Propia.

La ilustración 14 muestra las variables de investigación planteadas, la cual muestra que la variable dependiente de factibilidad del enlace, está ligada a las variables independientes de economía, tecnologías y terreno, estas variables independientes tienen sus respectivas dimensiones.

4.2.1 VARIABLE DEPENDIENTE

La variable dependiente va ligada a las independientes, esta variable se ve afectada y cambia sus propiedades de acuerdo a los resultados que presenten las variables independientes establecidas. Se ha establecido que la variable dependiente de esta investigación es la factibilidad del enlace, ya que es el resultado o el objetivo al que se desea llegar, y el cual, se puede ver afectado por las diferentes variables independientes que se presentan y se plantean.

4.2.1.1 Factibilidad del enlace

Con la utilización del equipo adecuado, es factible que los usuarios puedan contar con un servicio de internet que llene sus expectativas, garantizando así, la satisfacción del cliente por recibir un servicio dentro de los estándares de calidad.

4.2.2 VARIABLES INDEPENDIENTES

Las variables independientes son las causas por las cuales se lleva a cabo una investigación, son los factores que hacen fluctuar la variable dependiente, ya que estas son las que determinan el resultado que se espera obtener. Se determinaron tres variables independientes que afectan directamente la factibilidad del enlace (siendo esta la variable dependiente). Como variables independientes se encuentran la variable de economía, la variable de tecnología y la variable de terreno, todas estas variables cuentan con determinados indicadores que hacen posible su análisis.

4.2.2.1 Economía

Esta es una de las variables que determina verdaderamente si es factible o no la implementación de esta herramienta tecnológica, ya que, si los costos son muy elevados pone en riesgo la factibilidad para su ejecución, ya que muchas veces el impacto económico de inversión es mayor ante la tasa de retorno.

4.2.2.1.1 Tasa Interna de Retorno (TIR)

La tasa interna de retorno o tasa interna de rentabilidad, es la que brinda la información para saber si nuestro proyecto es rentable o no.

4.2.2.1.2 Valor Actual Neto (VAN)

El valor actual neto es un indicador financiero que facilita el saber si nuestro proyecto es viable o no. Para calcular el VAN se utilizó la ecuación 3.

$$VAN = -I_o + \sum_{t=1}^n \frac{FNE}{(1+i)^t} = \frac{FNE_1}{(1+i)^1} + \frac{FNE_2}{(1+i)^2} + \dots + \frac{FNE_n}{(1+i)^n}$$

Ecuación 3-Fórmula para calcula el valor actual neto

Fuente: (Fitó Bertran, 2015)

Donde:

FNE= Flujo Neto Efectivo.

i= Tasa de interés.

n= Número de periodos en el tiempo.

lo= Inversión realizada en el momento inicial.

4.2.2.2 Tecnologías

La tecnología está considerada como una de las bases sólidas que permiten la dinamización del mundo entero, es por eso, que esta variable es muy determinante en el estudio, ya que podrá contribuir en la dinamización de los diferentes procesos económicos, educativos, de salud y todos aquellos que requieran del uso tecnológico.

4.2.2.2.1 Disponibilidad de equipo

Este elemento de la disponibilidad del equipo depende mucho de la existencia del mismo en el mercado nacional para poder facilitar la implementación de los mismos en el proyecto antes descrito, a la vez, puede considerarse la factibilidad de su importación si en un momento determinado no puede ser adquirido en el mercado nacional; este aspecto podría

en un momento determinado incidir negativamente en la ejecución en tiempo y forma del mismo.

4.2.2.3 Terreno

La variable de terreno juega un papel muy importante, ya que es el que indica el lugar más estratégico para que la señal pueda expandirse a la mayor cantidad de población, es por eso que esta variable determina en mucho la factibilidad de la ejecución, porque deben considerarse elementos básicos como ser fácil acceso, que esté en una zona no inundable, debe ser un área segura, para que el equipo pueda desarrollar todas sus potencialidades y dar un servicio de calidad.

4.2.2.4 Población a ser atendida

En este caso, existe una buena población, ya que en la mayoría de las viviendas necesitan los servicios de internet, por lo que es muy importante que se dé la oferta y demanda para que el servicio que se brinde a través de esta implementación, tenga aceptabilidad en la población, de esta manera, podremos decir que garantizamos un éxito en la implementación del mismo, desde luego podría influir en algún momento negativamente pero se pueden implementar estrategias de mercado que permitan que este servicio tenga mayor aceptabilidad en la población.

4.3 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS APLICADOS

Para poder llevar a cabo el diseño de factibilidad del enlace y obtener una ubicación adecuada para determinar el lugar óptimo de los transmisores y receptores, se utilizó el software Airlink de Ubiquiti, el cual permitió poder realizar la simulación del enlace, de esa manera, se analizaron los diferentes puntos de ubicación para poder brindar cobertura a toda la comunidad de Cuyamel, analizando de igual forma, la altura requerida de cada estación, la distancia que existe entre estas y el equipo tecnológico más adecuado para poder garantizar un cien por ciento de conectividad.

4.4 MATERIALES

Para poder llevar a cabo un enlace por microondas, es necesario la utilización de un equipo especializado para la mayor efectividad del enlace, tomando en cuenta que cada equipo posee parámetros o características diferentes, las cuales serán de gran importancia conocer para que, de esta forma, el equipo seleccionado sea el adecuado para poder obtener el mejor desempeño posible en el enlace. El equipo a utilizar es el siguiente:

- Rocket Prism 5AC Gen 2
- Lite Beam 5AC Gen 2
- Rocket Dich

4.5 POBLACIÓN Y MUESTRA

La población que se determinó para esta investigación fue la de la comunidad de Cuyamel, Municipio de Omoa, que cuenta con una cantidad aproximada de 11,000 habitantes y una gran variedad de negocios entre ellos supermercados, abarroterías, bancos, farmacias, clínicas, cooperativas, entre otros, los cuales se ven en la necesidad de poseer una conexión a internet de calidad.

Fuente: (Bonilla, 2021)

4.6 METODOLOGÍA DE ESTUDIO

Al momento de abordar la problemática que se ha presentado, fue necesario plantear diferentes procedimientos para poder desarrollar la investigación de una forma organizada y cubrir cada área que se viera involucrada en la problemática. A continuación, se mencionan los procesos que se siguieron para la realización de esta investigación.

- Análisis de la situación actual.
- Descripción de conceptos fundamentales.
- Selección de la tecnología a utilizar.
- Diseño del enlace a través de airLink.
- Cotización del equipo.

4.7 CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

ACTIVIDAD	SEMANA									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Planteamiento del problema	■									
Elaboración de objetivos de investigación e introducción	■									
Marco teórico		■	■							
Bibliografía		■	■							
Elaboración de la metodología				■	■					
Diseño de la topología				■	■					
Cotización del equipo				■	■					
Verificación del terreno seleccionado				■	■	■				
Análisis de resultados				■	■	■	■	■		
Proyección de costos						■	■	■		
Elaboración de conclusiones y recomendaciones							■	■		
Elaboración de presentación final									■	■
Elaboración de artículo científico (formato paper)									■	■

En el cronograma de actividades se muestra detalladamente las actividades que se han llevado a cabo en la investigación, comenzando con el planteamiento del problema y la elaboración de objetivos de investigación e introducción, lo principal para poder comenzar todo trabajo de investigación, esto fue realizado en la semana uno. En las semanas dos y tres se llevó a cabo la investigación de elementos que fundamente el trabajo realizado, es decir la elaboración del marco teórico y la bibliografía que se ha consultado. Durante las semanas cuatro y cinco, se realizaron diferentes actividades, como ser, la elaboración de la metodología, diseño de la topología, cotización del equipo, elementos que son considerados importantes para un mejor resultado en la investigación. Durante las semanas cinco y seis se realizó una verificación del terreno seleccionado, en donde se colocaría las

torres, en las semanas seis, siete y ocho se ha llevado a cabo la proyección de costos y el análisis económico que este conlleva, a su vez, se han realizado los análisis de la simulación efectuada, donde se pueden observar la altura de las torres y antenas, la distancia existente entre los diferentes nodos y la zona de Fresnel entre las antenas. En las semanas siete y ocho se elaboraron las conclusiones y recomendaciones de la investigación realizada. Y para concluir, en las semanas nueve y diez, se hizo la elaboración de la presentación final a utilizar al momento de la defensa del respectivo trabajo de investigación, de igual forma, se hizo la elaboración de un artículo científico en formato paper.

V. RESULTADOS Y ANÁLISIS

El análisis de los resultados es la parte final y conclusiva de una investigación, en el cual se procesa toda la información que se ha obtenido en el estudio y se presenta de manera ordenada y comprensible, llegando de esta manera a las conclusiones del proceso de investigación.

5.1 PROYECCIÓN DE COSTOS

La proyección de los costos en ella se brinda la información de los precios, las proyecciones de ingresos que se establecen dentro de un presupuesto de gastos, es por eso que en ello se presenta con claridad los costos directos y se define el margen de beneficio con el que se va a trabajar para que se determine la viabilidad del proyecto.

5.1.1 MATERIALES A UTILIZAR

Los materiales a utilizar son todos los insumos, herramientas, equipos y todos los elementos físicos que se requieren para poder realizar los diferentes procesos, para obtener el producto esperado.

5.1.1.1 Rocket Prism 5AC Gen 2

El Rocket Prism 5AC Gen 2 ofrece una cobertura completa del espectro de 5 GHz con una sola radio, permite flexibilidad en la configuración de los anchos de banda del canal, los cuales, están sujetos a las regulaciones locales del país. Este equipo permite la realización de enlaces punto a punto o enlaces punto a multipunto. El Rocket Prism 5AC Gen 2 cuenta con tecnologías airMAX ac y airPRISM para un rendimiento inalámbrico máximo. Para un mejor rendimiento de este equipo, es recomendable emparejarlo con antenas airMAX ac, y de esta forma obtener un rendimiento óptimo. (NetWifiWorks. Ubiquiti Networks Authorized Online Reseller, 2021).



Ilustración 15-Rocket Prism 5AC Gen 2

Fuente: (NetWifiWorks. Ubiquiti Networks Authorized Online Reseller, 2021).

La ilustración 15 muestra el equipo Rocket Prism 5AC Gen 2, el cual se colocará tanto en la torre principal, como en las antenas transmisoras y receptoras, este equipo cuenta con tecnologías airMAX ac y airPRISM para un rendimiento inalámbrico máximo.

En la tabla 6 se pueden visualizar las características que posee el Rocket Prism 5AC Gen 2, las cuales, no serán de gran utilidad para poder conocer tanto su dimensión, peso, el consumo de energía, la fuente de alimentación, la temperatura de funcionamiento, entre otras.

Tabla 6- Características de Rocket Prism 5AC Gen 2

Dimensiones	88 x 40 x 230 mm (3,47 x 1,58 x 9,06 ")
Peso	400 g (14.11 onzas)
Interfaz de red	(1) Puerto Ethernet 10/100/1000
Conectores RF	(2) RP-SMA (resistente al agua) (1) GPS * (resistente al agua)
LEDs	(4) Intensidad de la señal, GPS *, LAN, Energía
Recinto	Aluminio fundido a presión con revestimiento en polvo blanco
Max. El consumo de energía	9,5 W
Fuente de alimentación	Adaptador PoE Gigabit de 24 V, 1 A (incluido)
Rango de voltaje admitido	18-26 V CC
LED de intensidad de señal	Ajustable por software para corresponder a los niveles RSSI personalizados
Temperatura de funcionamiento	-40 a 80 ° C (-40 a 176 ° F)

Fuente: (NetWifiWorks. Ubiquiti Networks Authorized Online Reseller, 2021).

El Rocket Prism 5AC Gen 2 será utilizado como transmisor y receptor en las torres que se colocarán en los distintos puntos, y para llevar a cabo el enlace punto a multipunto, se requiere que se utilice la antena Rocket Dish que es compatible con el Rocket Prism 5AC Gen 2. En la ilustración 16 se puede apreciar que la antena Rocket Dish ya cuenta con un espacio donde se coloca el Rocket Prism 5AC Gen 2.



Ilustración 16-Incorporación del Rocket Prism 5AC Gen 2 en la antena Rocket Dish

Fuente: (NetWifiWorks. Ubiquiti Networks Authorized Online Reseller, 2021).

La ilustración 16 da a conocer que la antena Rocket Dish cuenta con espacio en donde se adapta el Rocket Prism 5AC Gen 2, lo cual facilita su incorporación y evita el gasto de adaptadores extras y tiempo de instalación.

5.1.1.1 Tecnología airMax

La tecnología airMAX ac brinda mejoras de rendimiento en latencia y escalabilidad. Los equipos que cuentan con la tecnología airMAX ac ofrecen una latencia mejorada, inmunidad al ruido, escalabilidad y un rendimiento significativamente mayor. Con el uso de esta tecnología, los productos admiten hasta más de 500Mbps. (NetWifiWorks. Ubiquiti Networks Authorized Online Reseller, 2021).

5.1.1.1.2 Tecnología airPRISM

Para mejorar el rendimiento de airMAX ac, Ubiquiti Networks presenta la tecnología airPRISM, la cual brinda altas velocidades de datos, en especial en áreas ruidosas y de alta densidad. Esta tecnología aísla las señales dentro de un canal operativo y rechaza la interferencia. (NetWifiWorks. Ubiquiti Networks Authorized Online Reseller, 2021).

5.1.1.2 LiteBeam 5AC Gen 2

Este es un producto de banda ancha inalámbrica para exteriores. Este modelo ha sido diseñado para ser una solución accesible de costo/rendimiento para puentes de banda ancha inalámbrica de larga distancia. LiteBeam 5AC Gen 2 opera en el rango de frecuencia de 5 GHz, proporciona 23 dBi de ganancia para conectividad de larga distancia y utiliza un patrón de antena direccional para mejorar la inmunidad al ruido. (NetWifiWorks. Ubiquiti Networks Authorized Online Reseller, 2021).

LiteBeam 5AC Gen 2 será la antena que será instalada en los hogares o negocios requeridos, en la ilustración 17 se puede apreciar el LiteBeam 5AC Gen 2 y como se vería al ser instalado en el hogar.

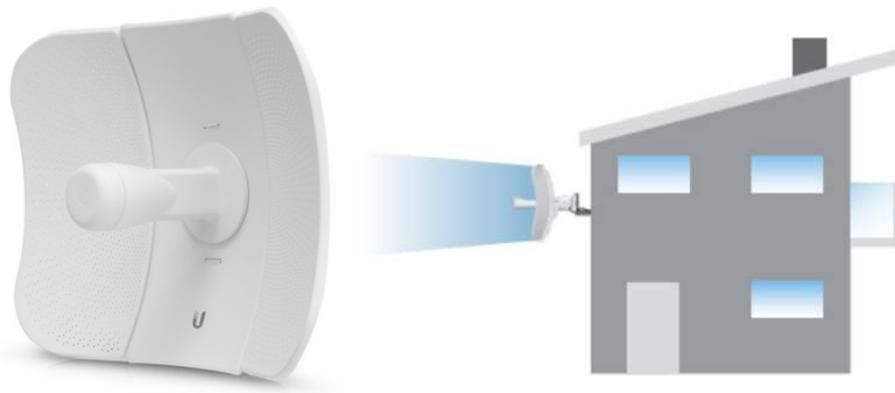


Ilustración 17-LiteBeam 5AC Gen 2

Fuente: (NetWifiWorks. Ubiquiti Networks Authorized Online Reseller, 2021).

La ilustración 17 da a conocer cómo sería una de las instalaciones en los hogares del equipo LiteBeam 5AC Gen 2, el cual opera a una frecuencia de 5 GHz, utilizando un patrón de

antena direccional, lo cual mejora la inmunidad al ruido, de esa forma, el servicio que obtiene el usuario es de calidad y sin interrupciones.

En la tabla 7 se pueden visualizar las características que posee LiteBeam 5AC Gen 2, se deben de tener claro estas características al momento de seleccionar el equipo, ya que el conocer estas características permiten poder elegir el equipo que mejor solucione el problema que se presenta.

Tabla 7- Características Litebeam 5AC Gen 2

Dimensiones	362 x 273 x 203 mm (14,25 x 10,75 x 7,99 ")
Peso	907 g (2,00 libras)
Supervivencia del viento	200 km / h (125 mph)
Características del recinto	Plástico estabilizado UV al aire libre
Kit de montaje	Kit de montaje en poste (incluido)
Consumo máximo de energía	7 vatios
Fuente de alimentación	Adaptador PoE Gigabit de 24 V, 0,3 A (incluido)
Temperatura de funcionamiento	-40 a 70 ° C (-40 a 158 ° F)

Fuente: (NetWifiWorks. Ubiquiti Networks Authorized Online Reseller, 2021).

5.1.2 COSTOS DE INVERSIÓN

Los costos de inversión corresponden a todos aquellos costos que se incurren en la adquisición de los activos necesarios para poder llevar a cabo o poner en funcionamiento el proyecto. Estos costos de inversión serán utilizados para la elaboración del estudio de factibilidad, el cual muestra si el proyecto es rentable y viable para su puesta en marcha.

En la tabla 8 se detalla toda la inversión inicial que tendría el proyecto, donde puede apreciarse el nombre del equipo, su precio por unidad y el total que tendrían todas las unidades, así mismo, el alquiler de los terrenos para poder instalar las torres donde se colocaran las antenas de transmisión y recepción, detallando el total de gastos del equipo y el total de gastos por alquiler de terrenos. Al final de la tabla se obtiene el total de la inversión.

Tabla 8-Costos de inversión inicial

Detalle	Precio Unitario	Cantidad	Total
EQUIPO			
Rocket Prism 5AC Gen 2	L. 10,907.66	4	L. 43,630.64
Lite Beam 5AC Gen 2	L. 2,945.16	6	L. 17,670.96
Rocket Dish	L. 5,979.53	4	L. 23,918.12
Torre	L. 57,072.00	10	L. 570,720.00
Instalación de Torres	L. 25,739.00	10	L. 257,390.00
TOTAL COSTOS			L. 913,329.72
GASTOS			
Alquiler Terreno para Torres			
Terreno 1	L. 10,000.00	1	L. 10,000.00
Terreno 2	L. 10,000.00	1	L. 10,000.00
Terreno 3	L. 10,000.00	1	L. 10,000.00
Terreno 4	L. 10,000.00	1	L. 10,000.00
TOTAL GASTOS			L. 40,000.00
TOTAL INVERSIÓN			L. 953,329.72

Fuente: Elaboración Propia

La tabla 9 muestra a detalle tanto los ingresos como gastos mensuales que se tendrían, así mismo, brindándonos la cantidad de habitantes y un aproximado de familias que habitan en la comunidad de Cuyamel, se toma que un 46% de las familias contrataría el servicio por microondas. El costo del paquete de internet más básico sería de 475 lempiras, teniendo un precio accesible.

En la misma tabla, se detallan tanto el total de ventas mensuales estimadas, como los gastos mensuales que se tendrían, como ser, alquiler de terrenos, pago de préstamo bancario, mantenimiento.

Tabla 9-Proyección de ventas, ingresos y egresos mensual y anual

PROYECCION DE VENTAS			
Detalle	Datos		
Habitantes en Cuyamel	11,000	NOTA: Se estima que un aproximado del 46% de familias contraten el servicio de internet con nuestra compañía.	
Aproximado de familias	3,667		
Paquete de internet básico	L. 475.00		
Total del 46%	1,687		
TOTAL DE VENTAS MENSUALES	L. 801,325.00		
PROYECCION DE INGRESOS			
Detalle	Datos	Precio por unidad	Total
Total ventas mensuales			L. 801,325.00
Gastos Mensuales			
Pago de Prestamos bancario			L. 54,672.09
Mantenimiento de torres	10	L. 1,000.00	L. 10,000.00
Personal	5	L. 10,000.00	L. 50,000.00
Otros costos			L. 30,000.00
Alquiler Terreno 1	1	L. 10,000.00	L. 10,000.00
Alquiler Terreno 2	1	L. 10,000.00	L. 10,000.00
Alquiler Terreno 3	1	L. 10,000.00	L. 10,000.00
Alquiler Terreno 4	1	L. 10,000.00	L. 10,000.00
Mantenimiento de terrenos	4	L. 1,500.00	L. 6,000.00
TOTAL GASTOS			L. 46,000.00
TOTAL INGRESOS MENSUAL NETO			L. 610,652.91
PROYECCION DE INGRESOS ANUALES	12	L. 610,652.91	L. 7,327,834.92

Fuente: Elaboración Propia

La tabla 10 muestra que, en un periodo de tres meses (siendo estos los números 1,2 y 3 que se indican en la tabla, y el número 0 es el valor actual de la inversión), nuestra TIR será del 41%, lo cual indica que nuestro proyecto es rentable, generará ganancias y, por lo tanto, es seguro invertir en él.

Tabla 10-Tasa Interna de Retorno

Detalle	Periodo			
	0	1	2	3
Flujo neto efectivo	-L. 953,329.72	L. 610,652.91	L. 610,652.91	L. 610,652.91
			TIR	41%

Fuente: Elaboración Propia

La tabla 11 muestra el flujo neto efectivo tanto en la inversión inicial (periodo 0) y los flujos netos de efectivo que se tendrán en los próximos tres meses siguientes (periodos 1,2 y 3). En esta tabla se puede ver que el valor actual neto es mucho mayor a cero, lo cual indica que este proyecto es rentable y genera una ganancia en los primeros tres meses.

Tabla 11-Valor Actual Neto

Detalle	Periodo			
	0	1	2	3
Flujo Neto Efectivo	-L. 953,329.72	L. 610,652.91	L. 610,652.91	L. 610,652.91
N	FNE	$(1+i)^n$	$FNE/(1+i)^n$	
0	-L. 953,329.72		-L. 953,329.72	
1	L. 610,652.91	1.05	L. 581,574.20	
2	L. 610,652.91	1.10	L. 553,880.19	
3	L. 610,652.91	1.16	L. 527,504.94	
			VAN	L. 709,629.61

Fuente: Elaboración Propia

5.2 ALTURA ESTIMADA DEL EQUIPO

La altura en la cual se ubica determinado equipo que será utilizado para transmisión, es de suma importancia, ya es un factor que permite que la comunicación entre los diferentes puntos sea efectiva. Una correcta altura evitará que existan obstáculos que impidan la comunicación entre los equipos, logran un cien por ciento de conectividad y mejores resultados para el usuario final.

La ilustración 18 muestra la vista entre la antena principal y la antena 1, donde puede apreciar que se encuentran a una distancia de 924.36m, la antena principal se encuentra a 15m de altura y la antena 1 se encuentra a 12m de altura, de igual forma la antena2 y la antena3 se encuentran a 12m de altura. Estas alturas se determinaron como las mejores, ya que no existe ningún objeto que obstaculice la comunicación entre la antena principal y las antena1, antena2 y antena3. Se puede apreciar que su zona de Fresnel está libre, sin ningún obstáculo entre ambas antenas. Su potencia de salida es de 28dBm.

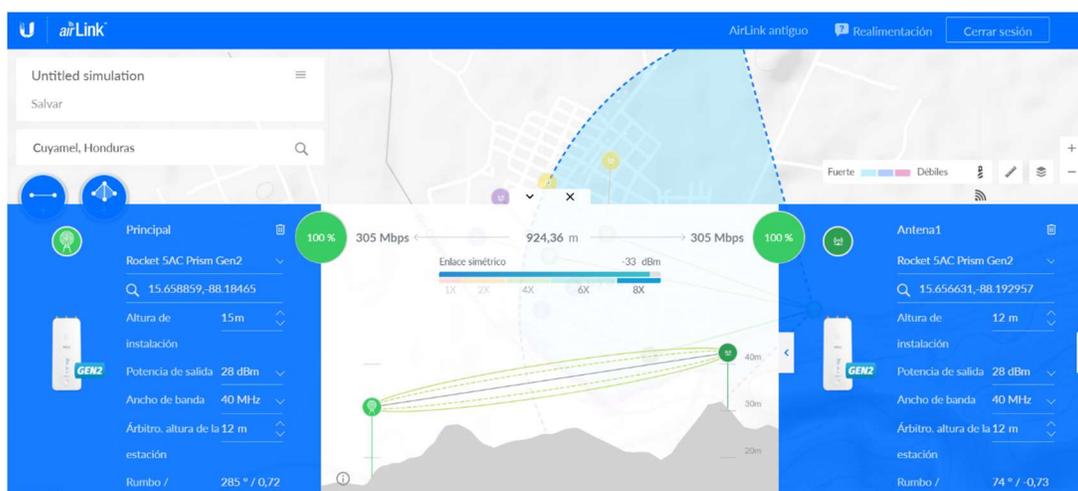


Ilustración 18-Comunicación antena principal y antena1

Fuente: Elaboración Propia.

La ilustración 19 muestra la vista existente entre la antena1 y la casa1, ambas se encuentran a una altura de 12m, y están a una distancia de 639.23 m, se observa que no hay ningún objeto que impida la comunicación.

Así mismo, la antena2 y la antena3 se encuentran a 12m de altura, al igual que la casa1 y casa2 que están en comunicación con la antena2, se encuentran a 12m de altura y de igual forma la casa1 y casa2 que están en comunicación con la antena3, se encuentran a 12m de altura. Su potencia de salida es de 28dBm.

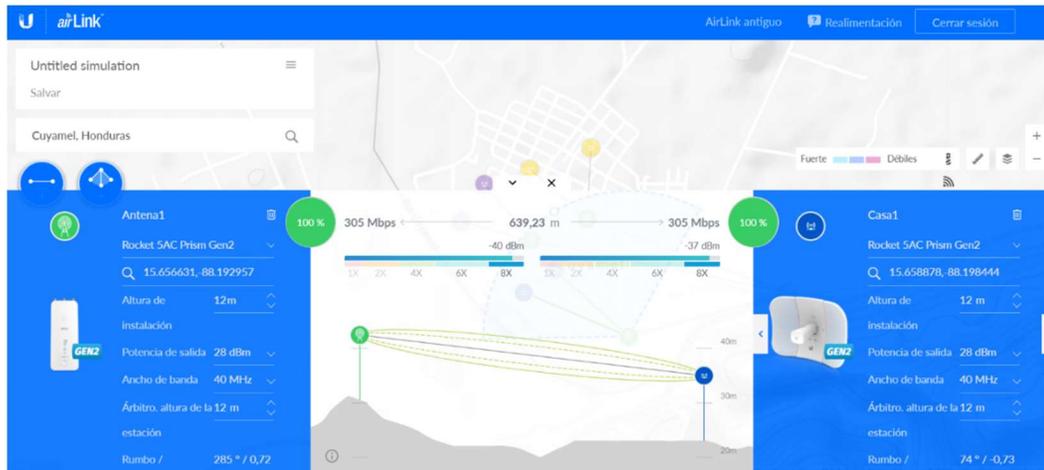


Ilustración 19-Comunicación antena1 a casa1

Fuente: Elaboración Propia.

5.3 COORDENADAS Y PARÁMETROS TÉCNICOS DEL EQUIPO

Es importante determinar la ubicación en donde se colocará el equipo y los diferentes parámetros técnicos que serán requeridos para lograr una comunicación efectiva y de calidad.

En la ilustración 18 se aprecian la topología que se implementaría en la comunidad de Cuyamel, en la cual, se observa la antena principal, las tres antenas receptoras y transmisoras y por último seis antenas finales que serán instaladas en los hogares o negocios de los clientes.

La antena principal se colocará en la entrada de Cuyamel, en donde estará la oficina y en donde llegará la fibra óptica de la compañía que se determine, las coordenadas son 15.658859, -88.18465. La antena1 se encuentra en el Barrio Buenos Aires, cuyas coordenadas son 15.656631, -88.192957, la antena2 se encuentra ubicada en el Barrio Azul y Blanco, cuyas coordenadas son 15.661456, -88.198083, y por último la antena3 se encuentra en el Barrio Lempira, cuyas coordenadas son 15.66256, -88.195156. Estos barrios fueron seleccionados

como la mejor ubicación para colocar las antenas ya que son zonas seguras, no inundables y en donde se puede alcanzar una cobertura completa de la comunidad de Cuyamel.

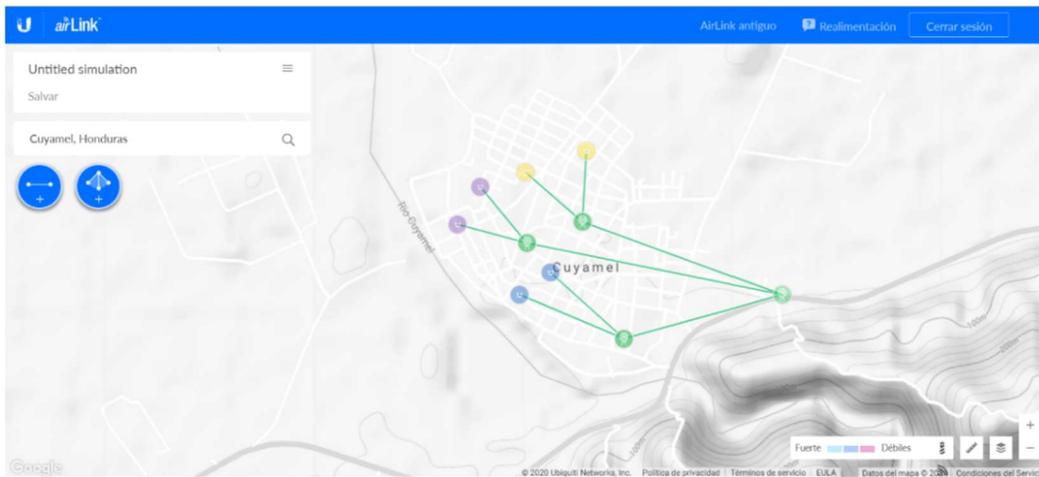


Ilustración 20-Puntos de ubicación

Fuente: Elaboración Propia.

En la ilustración 21 se aprecia la cobertura que tendrá la antena principal, abarcando las tres antenas secundarias, obteniendo un alcance óptimo para que todas las antenas reciban una señal estable y de buena calidad.

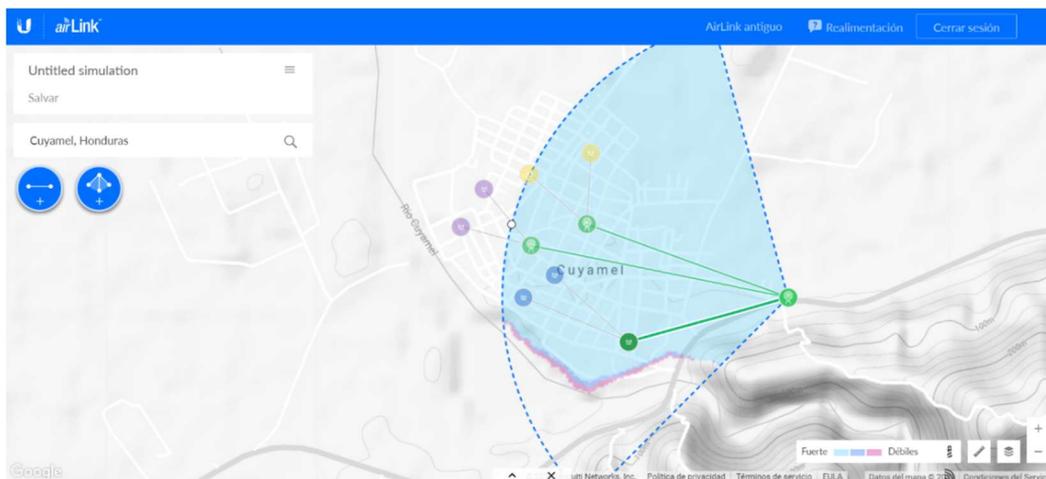


Ilustración 21-Área de cobertura de la antena principal

Fuente: Elaboración Propia.

La ilustración 22 muestra la vista entre la antena principal y la antena 2, en donde se encuentran a una distancia de 1.47 km, la antena principal se encuentra a 15m de altura y la antena 2 se encuentra a 12m de altura. Se puede apreciar que su zona de Fresnel está libre, sin ningún obstáculo entre ambas antenas. Ambas poseen una potencia de salida de 28 dBm, un ancho de banda de 40MHz.

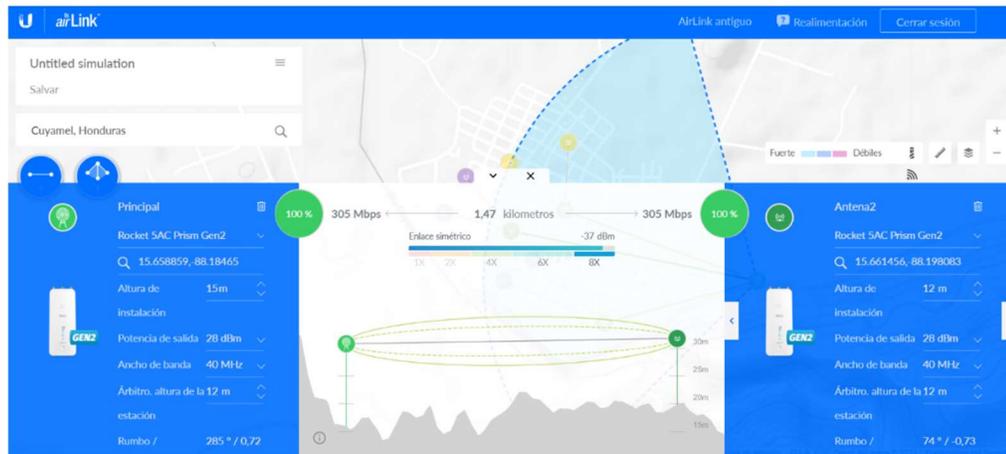


Ilustración 22-Comunicación antena principal y antena2

Fuente: Elaboración Propia.

La ilustración 23 muestra la vista entre la antena principal y la antena3, donde puede apreciar que se encuentran a una distancia de 1.2 km, la antena principal se encuentra a 15m de altura y la antena 3 se encuentra a 12m de altura. Se puede apreciar que su zona de Fresnel está libre, sin ningún obstáculo entre ambas antenas. Ambas poseen una potencia de salida de 28 dBm, un ancho de banda de 40MHz.

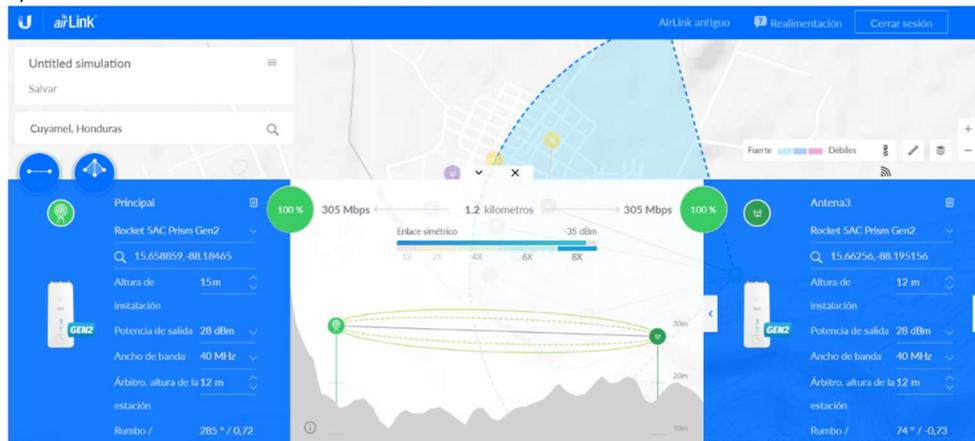


Ilustración 23-Comunicación antena principal y antena3

Fuente: Elaboración Propia.

En la ilustración 24 se muestra el área de cobertura que va a abarcar la antena1, la cual permite dar cobertura a una amplia zona, brindando el servicio a una determinada zona de la comunidad de Cuyamel.

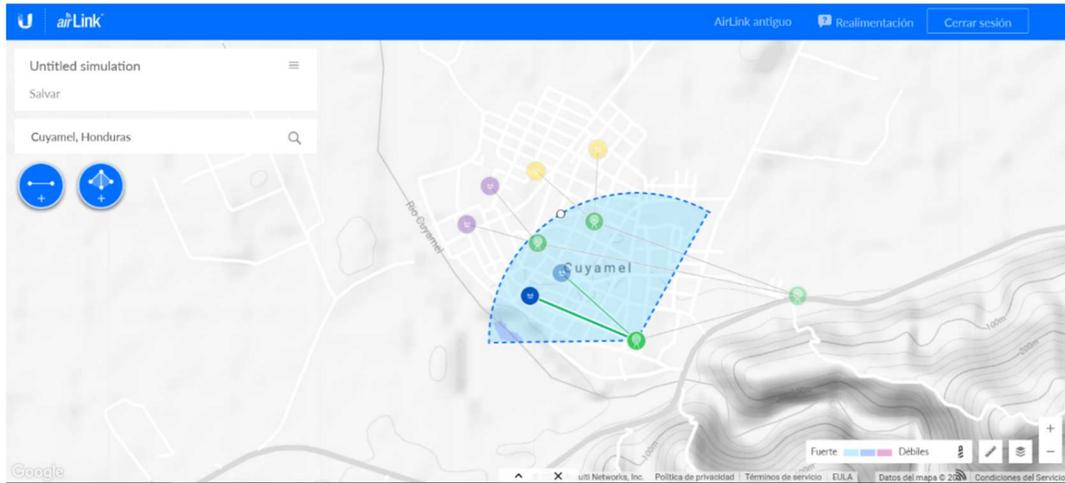


Ilustración 24-Área de cobertura de la antena1

Fuente: Elaboración Propia.

La ilustración 25 muestra la vista existente entre la antena1 y la casa2, ambas se encuentran a una altura de 12m, y están a una distancia de 558.71 m, se observa que no hay ningún objeto que impida la comunicación. Ambas poseen una potencia de salida de 28 dBm, un ancho de banda de 40MHz.

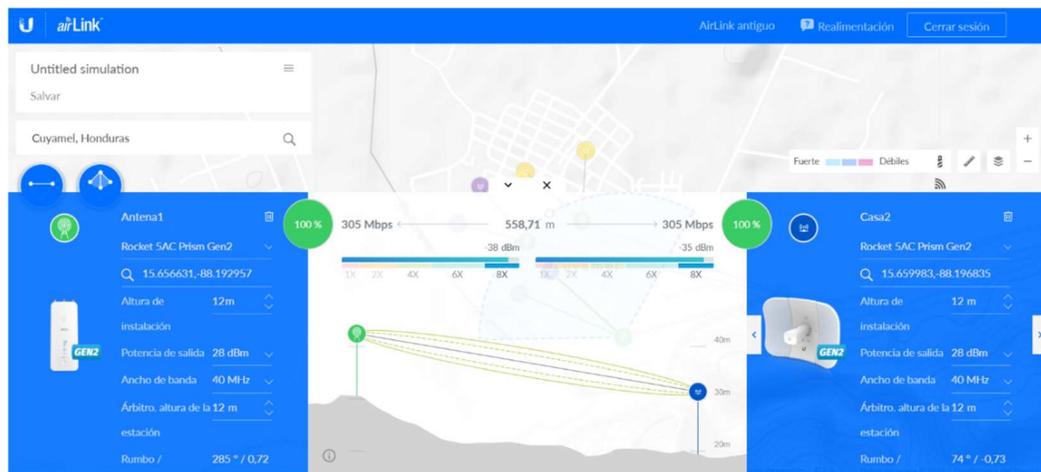


Ilustración 25- Comunicación antena1 a casa2

Fuente: Elaboración Propia.

En la ilustración 26 se muestra el área de cobertura que va a abarcar la antena2, la cual permite dar cobertura a una amplia zona, brindando el servicio a una determinada zona de la comunidad de Cuyamel.

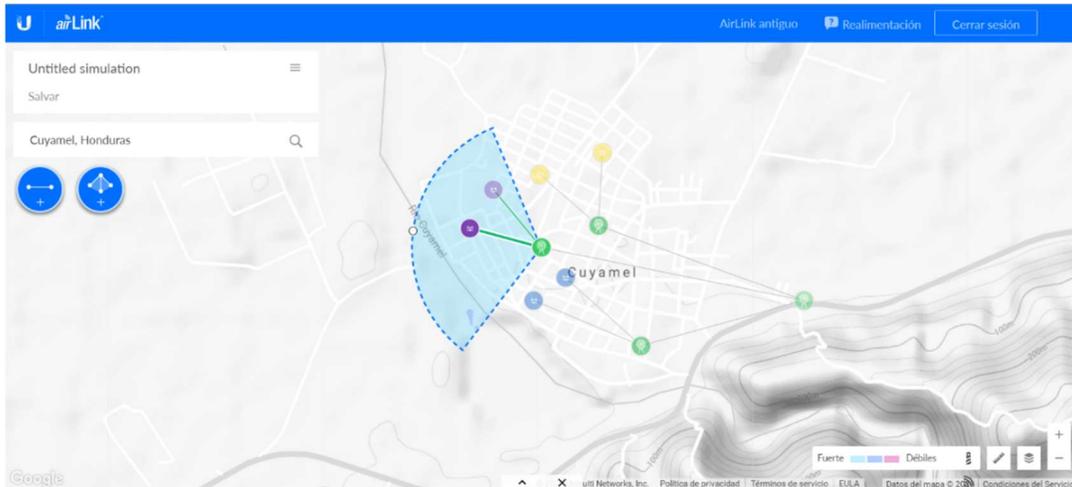


Ilustración 26-Área de cobertura de la antena2

Fuente: Elaboración Propia.

La ilustración 27 muestra la vista existente entre la antena2 y la casa1, ambas se encuentran a una altura de 12m, y están a una distancia de 403.64 m, se observa que no hay ningún objeto que impida la comunicación. Ambas poseen una potencia de salida de 28 dBm, un ancho de banda de 40MHz.

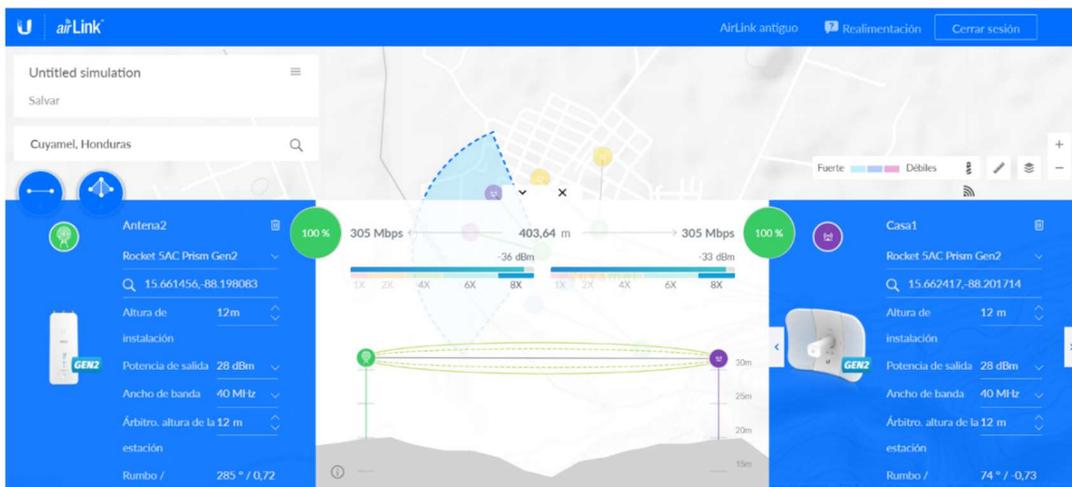


Ilustración 27-Comunicación antena2 a casa1

Fuente: Elaboración Propia.

La ilustración 28 muestra la vista existente entre la antena2 y la casa2, ambas se encuentran a una altura de 12m, y están a una distancia de 413.17 m, se observa que no hay ningún objeto que impida la comunicación. Ambas poseen una potencia de salida de 28dBm, un ancho de banda de 40MHz.

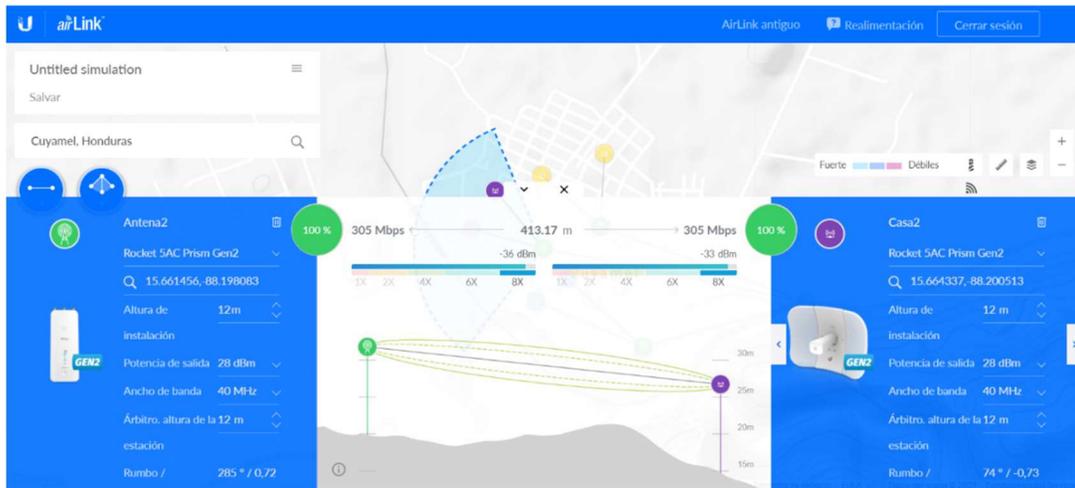


Ilustración 28-Comunicación antena2 a casa2

Fuente: Elaboración Propia.

En la ilustración 29 se muestra el área de cobertura que va a abarcar la antena 3, la cual permite dar cobertura a una amplia zona, brindando el servicio a una determinada zona de la comunidad de Cuyamel.

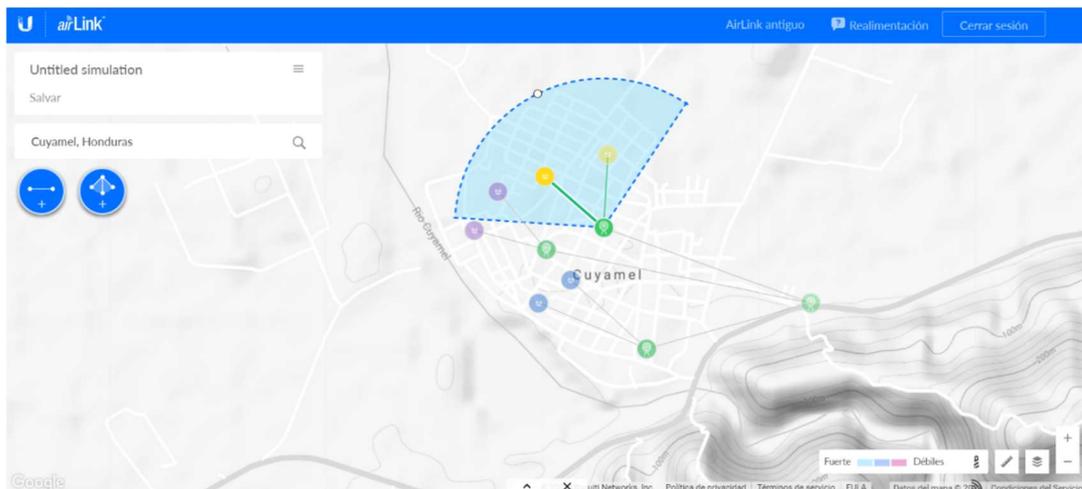


Ilustración 29-Área de cobertura de la antena3

Fuente: Elaboración Propia.

La ilustración 30 muestra la vista existente entre la antena3 y la casa1, ambas se encuentran a una altura de 12m, y están a una distancia de 426.68 m, se observa que no hay ningún objeto que impida la comunicación. Ambas poseen una potencia de salida de 28dBm, un ancho de banda de 40MHz.

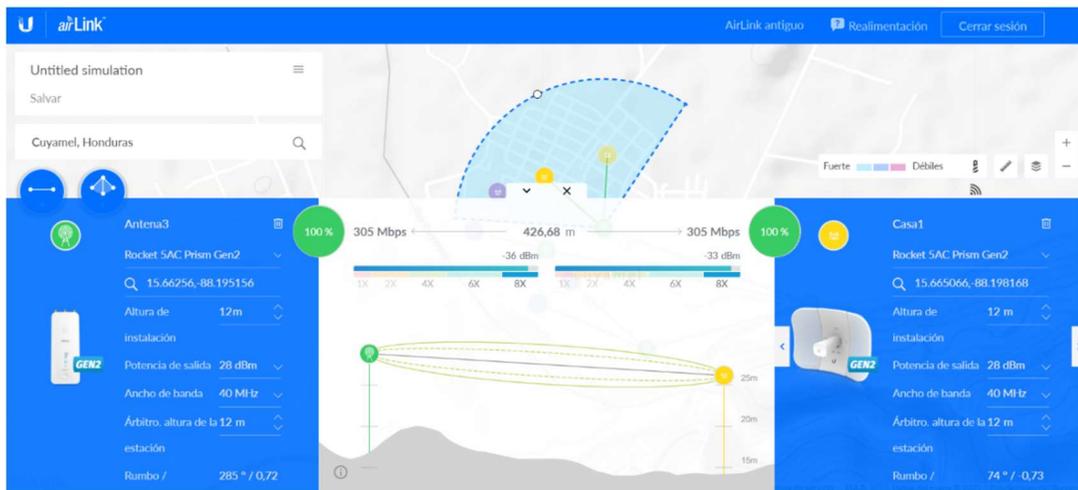


Ilustración 30-Comunicación antena3 a casa1

Fuente: Elaboración Propia.

La ilustración 31 muestra la vista existente entre la antena3 y la casa2, ambas se encuentran a una altura de 12m, y están a una distancia de 399 m, se observa que no hay ningún objeto que impida la comunicación. Ambas poseen una potencia de salida de 28dBm, un ancho de banda de 40MHz.

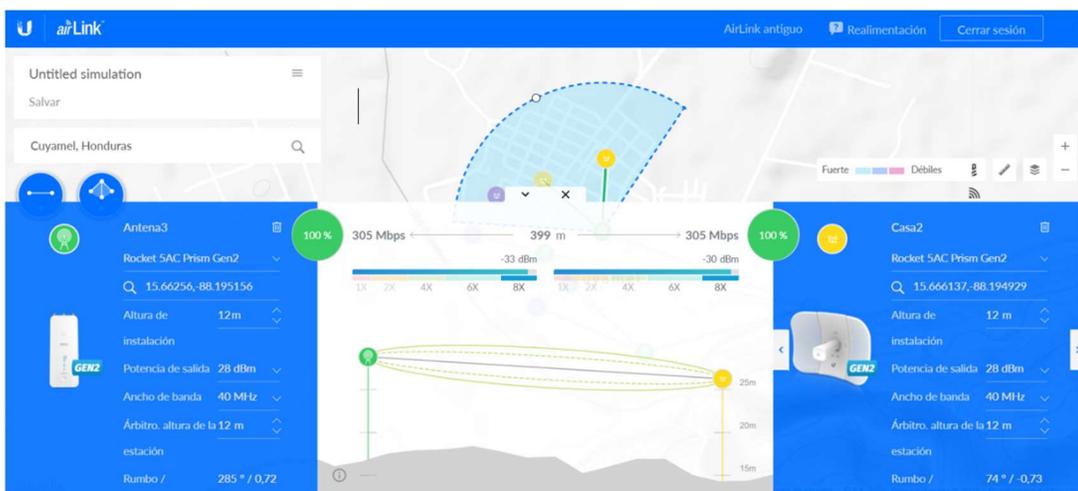


Ilustración 31-Comunicación antena3 a casa2

Fuente: Elaboración Propia.

VI. CONCLUSIONES

6.1 CONCLUSIÓN GLOBAL

El proyecto de enlace por microondas tomando como base todos los elementos, entre ellos su factibilidad, diseño y su costo puede ejecutarse satisfactoriamente ya que el impacto económico es factible, además, todos los aspectos técnicos son satisfactorios para que la comunidad de Cuyamel, municipio de Omoa, pueda contar con un servicio de internet de calidad.

6.2 CONCLUSIONES PARCIALES

- El análisis económico realizado ha mostrado como resultado que es un proyecto factible y estable de desarrollar, el cual, no solo brinda una ganancia económica, sino que también, es accesible a la población, ya que el paquete básico tiene un costo de 475 lempiras. La inversión es de 953,329.72 lempiras, esta inversión se ve recuperada en un escenario optimo, ya que cada mes se obtiene un ingreso de 610,652.91 lempiras, considerando 1,687 clientes potenciales, teniendo una tasa interna de retorno del 41%.
- Se estableció una altura de 15 metros para la antena principal, ubicada en la entrada de Cuyamel, y 12 metros de altura para el resto del equipo, distribuido en toda la comunidad, además, el equipo tendrá una potencia de 28dBm.
- El equipo requerido se ubicó estratégicamente en toda la comunidad, para que, de esa forma, poder brindar cobertura a la comunidad de Cuyamel, analizando las mejores ubicaciones en donde colocar el equipo, siendo estos puntos seguros y las mejores opciones de ubicación para este. La distancia existente entre la antena principal y la antena1 es de 924.36 metros, colocada la antena principal en la entrada de Cuyamel, cuyas coordenadas son 15.658859,-88.18465 y la antena1 colocada en el Barrio Buenos Aires, cuyas coordenadas son 15.656631,-88.192957, la distancia entre la antena principal y la antena2 es de 1.47 kilómetros, colocada la antena2 en el Barrio Azul y Blanco, cuyas coordenadas son 15.661456,-88.198083, la distancia entre la antena principal y la antena3

es de 1.2 kilómetros, ubicada la antena3 en el Barrio Lempira, cuyas coordenadas son 15.66256,-88.195156. Este equipo tiene un ancho de banda de 40 MHz.

VII. RECOMENDACIONES

- Tomar en cuenta que el factor económico es fundamental para implementar este enlace por microondas, ya que un análisis económico nos dice si el proyecto es factible y estable de llevar a cabo, de igual forma, nos muestra si se genera una ganancia, el tiempo en el cual se recupera la inversión inicial, y el ingreso mensual estimado.
- Establecer una altura en donde ningún objeto obstaculice la conectividad o afecte la estabilidad de esta, recomendando así, realizar un mantenimiento cada tres meses, tanto del equipo implementado, como del área donde se encuentra el mismo, evitando daños futuros que pueden afectar la calidad del servicio y del equipo mismo.
- Es de vital importancia colocar el equipo en puntos estratégicos de la comunidad, de esa forma, se cubre toda la comunidad, así mismo, buscar espacios seguros en donde colocar las antenas de transmisión y recepción, tomando en cuenta la accesibilidad del terreno, zonas no inundables y un terreno firme.

BIBLIOGRAFÍA

1. Barbecho, R. C. (2011). *Estudio, diseño e implementación de un enlace inalámbrico de largo alcance con antenas direcciones de la empresa Compufácil*. Cuenca: Universidad Tecnológica Israel.
2. Bonilla, J. (5 de Febrero de 2021). Registro Nacional de las Personas Municipalidad de Omoa. (J. R. Hernández, Entrevistador)
3. Brava, J. S. (1995). *Microondas y Recepción Satelital*. Buenos Aires: Editorial Hispano Americana S.A.
4. Cajo, R., Zúñiga, S., & Huilcapi, V. (2016). Mecanismo de posicionamiento en Azimut y Elevación para la optimización de radioenlaces punto a punto basado en algoritmos de búsqueda espectral y técnicas de muestreo. *Revista Científica Maskana*, 5,31-39.
5. Cardama Aznar, Á., Romeu Robert, J., Rius Casals, J. M., Jofre Roca, L., Blanch Boris, S., & Bataller, M. F. (2002). *Antenas*. Catalunya: Edicions UPC.
6. Castro Jaramillo, R. C., & Cobos García, E. A. (2007). *Fundamentos, infraestructura, diseño e implementación de un enlace punto a punto de microondas dentro de la Jerarquía Digital Plesiócrona (PDH) en México*. México, D.F.: Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica. Instituto Politécnico Nacional.
7. CCNA Cisco Certified Network Academy. (27 de Febrero de 2007). *Antena omnidireccional frente a antena direccional: CCNA Cisco Certified Network Academy*. Obtenido de CCNA Cisco Certified Network Academy: https://www.cisco.com/c/es_mx/support/docs/wireless-mobility/wireless-lan-wlan/82068-omni-vs-direct.html
8. CCNA Cisco Certified Network Academy. (21 de Enero de 2021). Medios de red.
9. Cerdá Filiu, L. M., & Hidalgo Iturralde, T. (2015). *Procesos en instalaciones de infraestructuras comunes de telecomunicaciones*. Madrid: Ediciones Paraninfo, SA.

10. Chávez Zambrano, G. K., & Tuárez Anchundia, L. G. (2016). *Propuesta de red de datos para la gestión de los servicios de red en el campus potécnico de la ESPAM MFL*. Calceta: Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López.
11. Comisión Nacional De Telecomunicaciones. (2013). *Conceptos de cobro aplicables por CONATEL para el año 2013*. Tegucigalpa.
12. Consejo Nacional de Telecomunicaciones; Secretaría Nacional de Telecomunicaciones. (2012). *Plan Nacional de Frecuencias*. Ecuador.
13. Díaz Morcillo, A., Fayos Fernández, J., & Monzó Cabrera, J. (2015). *Microondas, Líneas de Transmisión, Guías de Ondas y Cavidades Resonantes*. Cartagena: Departamento de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones. Universidad Politécnica de Cartagena.
14. e-Global SMART COMMUNICATIONS. (22 de Febrero de 2021). *Servicios: e-Global SMART COMMUNICATIONS*. Obtenido de e-Global SMART COMMUNICATIONS: <http://smartcomm.mx/redes.html#>
15. Fitó Bertran, À. (2015). *¿Cómo se valora una empresa?* Barcelona: Editorial UOC (Oberta UOC Publishing, SLU).
16. Freeman, R. L. (2007). *Radio System Design for telecommunications*. New York: John Wiley & Sons, Inc.
17. García Higuera, A., & Castillo García, F. J. (2007). *CIM : El computador en la automatización de la producción*. Cuenca: Ediciones de la Universidad de Castilla- La Mancha.
18. García Rodrigo, J., & Morales Santiago, G. (2012). *Instalaciones de radiocomunicaciones*. Madrid: Ediciones Paraninfo, SA.
19. Gonzalez Menendez, G. (2018). *Diseño de un sistema de radioenlace para comunicaciones en el ámbito industrial*. Catalunya: Universitat Oberta de Catalunya (UOC).

20. Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, M. d. (2015). *Metodología de la Investigación*. México, D.F.: McGRAW-HILL / INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V.
21. Herrera Pérez, E. (2004). *Introducción a las Telecomunicaciones Modernas*. México DF: Limusa, S.A. de C.V.
22. Herrera Pérez, E. (2010). *Tecnologías y Redes de transmisión de datos*. México: LIMUSA, S.A. DE C.V. GRUPO NORIEGA EDITORES.
23. Huidobro, J. M. (2013). Antenas de telecomunicaciones. *Revista Digital de ACTA*, 4-6.
24. Institute of Electrical and Electronics Engineers. (1979). *IEEE Standard Dictionary of Electrical and Electronic Terms*. Michigan: IEEE.
25. Lederkremer, M. (2019). *Redes Informáticas*. Buenos Aires: Claudio Peña Millahual.
26. Márquez Tocas, J. J. (2015). *Implementación de sistemas para atención de emergencia en la municipalidad distrital de Belén en la ciudad de Iquitos*. Lima: Universidad Tecnológica del Perú: Facultad de ingeniería en sistemas y electrónica.
27. Monachesi, E., Frenzel, A. M., Chaile, G., Carrasco, A., & Gómez López, F. A. (2011). *Efecto de la Foresta en las Transmisiones electromagnéticas dentro de una WLAN (LAN inalámbrica)*. *Conceptos generales de antenas*. Tucumán: Editorial de la Universidad Tecnológica Nacional.
28. Murillo Fuentes, J. J. (2013). *Problemas de Radiocomunicación*. Sevilla: Escuela Técnica Superior de Ingeniería Camino de los Descubrimientos sn.
29. NetWifiWorks. Ubiquiti Networks Authorized Online Reseller. (4 de Febrero de 2021). *airMAX ac: NetWifiWorks. Ubiquiti Networks Authorized Online Reseller*. Obtenido de NetWifiWorks. Ubiquiti Networks Authorized Online Reseller: <https://www.netwifeworks.com/airMAX-ac.asp>
30. NetWifiWorks. Ubiquiti Networks Authorized Online Reseller. (4 de Febrero de 2021). *Ubiquiti LiteBeam 5AC Gen 2: NetWifiWorks. Ubiquiti Networks Authorized Online*

- Reseller*. Obtenido de NetWifiWorks. Ubiquiti Networks Authorized Online Reseller: https://www.netwifiworks.com/LiteBeam-ac.asp?utm_source=vgsearch&utm_term=LiteBeam%205AC%20Gen2
31. NetWifiWorks. Ubiquiti Networks Authorized Online Reseller. (4 de Febrero de 2021). *Ubiquiti Rocket Prism 5AC Gen 2: NetWifiWorks. Ubiquiti Networks Authorized Online Reseller*. Obtenido de NetWifiWorks. Ubiquiti Networks Authorized Online Reseller: <https://www.netwifiworks.com/Rocket5ac-Prism.asp>
 32. Poltronieri, F. A. (2011). *SITE SURVEY E CÁLCULO ZONA DE FRESNEL*. Paraná: Universidade Tecnológica Federal do Paraná.
 33. Ponce, E. d., Molina Tortosa, E., & Mompó Maicas, V. (2015). *Redes Inalámbricas: IEEE 802.11*. Valencia.
 34. Punguil Coro, M. I. (2015). *Estudio e implementación de enlace microondas MTI basado en el IEEE standard 802.11 a, para uso didáctico en el laboratorio de Telecomunicaciones de la Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo*. Guayaquil: Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.
 35. Rofríguez, J. M. (2019). *Estudio de viabilidad de radioenlaces*. Sevilla: Dpto. Teoría de la Señal y Comunicaciones. Escuela Técnica Superior de Ingeniería.
 36. Ruiz Echeverría, A. C. (2017). *Diseño de una red punto a multipunto para el recinto El Mate*. Guayaquil: Universidad de Guayaquil. Facultad de Ingeniería Industrial.
 37. Salazar, J. (26 de Enero de 2021). *Redes Inalámbricas: TECHpedia*. Obtenido de TECHpedia: <http://techpedia.fel.cvut.cz/en/single/?objectId=9>
 38. Terán Subía, R. X., & Andrade Pazmiño, L. J. (2012). *Diseño y construcción de un sistema multi-recepción para televisión satelital aplicando varios receptores (LNB) sobre un reflector único*. Quito: Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica: Escuela Politécnica Nacional.

39. Tercero Carrasco, M. A., & Morales Rivera, R. N. (2013). *Diseño de interconexión para enlace de microondas punto a punto entre las comunidades de San Carlos y el archipiélago de Solentiname*. Managua.
40. Tomasi, W. (2003). *Sistemas de Comunicaciones Electrónicas*. Phoenix: Pearson Educación.
41. Unión Internacional de Telecomunicaciones. (22 de Enero de 2021). *Propagación de las ondas radioeléctricas: ITU*. Obtenido de Unión Internacional de Telecomunicaciones (ITU): <https://www.itu.int/pub/R-REP-P/es>
42. Varela, C., & Domínguez, L. (2002). *Redes Inalámbricas*. Valladolid: Escuela Técnica Superior de Ingeniería Informática. Universidad de Valladolid.
43. Vargas Bermúdez, F. A., Báez Pérez, C. I., & Ochoa Echeverría, M. (2018). *Redes inalámbricas de sensores en ambiente GRID*. Tunja: Universidad de Boyacá.
44. Vela Remache, P. A. (2015). *Estudio y diseño de un radioenlace para transmisión de datos, e internet en frecuencia libre para la cooperativa indígena "Alfa y Omega" utilizando equipos airmax de Ubiquiti*. Quito: Escuela de Formación de Tecnólogos.
45. WIFIMIRAMAR. (31 de Enero de 2021). *Principal: WIFIMIRAMAR*. Obtenido de WIFIMIRAMAR: <http://wifimiramar.sytes.net/>
46. Zavala Angamarca, M. M. (2013). *ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS TECNOLÓGICAS*. Riobamba: ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO.