

Área de Conocimiento de Tecnología de la Información y
Comunicación

Estudio técnico para el diseño de un radioenlace que garantice la Interconexión entre el RUPAP y la finca agrícola Experimental

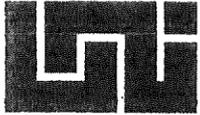
TRABAJO MONOGRÁFICO PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES

Elaborado por:

Br. Denis Francisco
Ortega Ortiz
Carnet: 2013-43776

Tutor:

Ing. Marlovio José
Sevilla Hernández



Área de Conocimiento de
Tecnología de la Información
y Comunicación

SECRETARIA DE ÁREA ACADÉMICA

F-8: CARTA DE FINALIZADO PLAN DE ASIGNATURA

El Suscrito Secretario del **ÁREA DEL CONOCIMIENTO DE TECNOLOGÍA DE LA INFORMACIÓN Y COMUNICACIÓN** hace constar que:

ORTEGA ORTIZ DENIS FRANCISCO

Carné: **2013-43776** Turno: **Diurno** Plan de Asignatura: **2015** de conformidad con el Reglamento Académico vigente en la Universidad, ha aprobado todas las asignaturas correspondientes a la carrera de **INGENIERIA EN TELECOMUNICACIONES**, en el año 2019 y solo tiene pendiente la realización de una de las formas de culminación de estudio.

Se extiende la presente **CARTA DE FINALIZADO PLAN DE ASIGNATURA**, a solicitud del interesado en la ciudad de Managua, a los veinte y ocho días del mes de octubre del año dos mil veinte y cuatro.

Atentamente,

Ing. Cedrick Elksnherr Dalla Torre Parrales
SECRETARIO DE ÁREA ACADÉMICA

☎ Teléfono: (505) 2270-0723.



Recinto Universitario Simón Bolívar
Avenida Universitaria,
Managua, Nicaragua.
Apdo: 5595



cedrick.dallatorre@fec.uni.edu.ni
www.fec.uni.edu.ni



Decanatura | FEC

Universidad Nacional de Ingeniería
Recinto Universitario "Simón Bolívar"
Facultad de Electrotecnia y Computación

Decanatura
DF-11-2023-27

Managua, 09 de noviembre del 2023.

Bachiller.

Denis Francisco Ortega Ortiz 2013-43776.

Egresados de la Carrera de Ingeniería en Telecomunicaciones.

Estimado Bachiller:

El suscrito Decano de la Facultad de Electrotecnia y Computación, a través de la presente autoriza de manera formal la inscripción de la Monografía Titulada "**Estudio Técnico para el Diseño de un Radio Enlace que garantice la Interconexión entre el RUPAP y la Finca Agrícola Experimental**". Para optar al Título de Ingeniero Telecomunicaciones para tal efecto se nombra como Tutor de la Monografía al **Ing. Marlovio Sevilla Hernández**.

Así mismo le solicito proceda a la **Inscripción de dicho Tema Monográfico** en secretaria Académica de la facultad, con la finalidad de darle control y seguimiento, de acuerdo a los reglamentos establecidos.

Se les recuerda que, según la normativa para los trabajos monográficos, a partir de la fecha de inscripción tiene 12 meses para defender dicho trabajo.

Sin más a que referirme y deseándoles mucho éxito en la culminación de esta etapa, me despido.

Atentamente,



Msc. Augusto César Palacios Rodríguez
Decano UNI-FEC

C/c: Ing. María Lourdes Montes.
Ing. Marlon Robleto Aleman.
Ing. Marlovio Sevilla Hernández.
Archivo.

Secretaria Académica.
Jefe de Dpto. de Sistemas Digitales y Telecomunicaciones.
Tutor.



Teléfono: (505) 2270 5126



Recinto Universitario Simón Bolívar
Avenida Universitaria.
Managua, Nicaragua.
Apdo: 5595



augusto.palacios@fec.uni.edu.ni
www.fec.uni.edu.ni



Área de Conocimiento de
Tecnología de la Información
y Comunicación

Managua 20 de enero de 2025

MSc. Claudia Benavidez Rugama
Directora DACTIC
Su Despacho

Estimada MSc. Benavides.

Me dirijo a usted de la manera más atenta para hacer de su conocimiento, que el trabajo monográfico aprobado para el egresado del programa académico de Ingenierías en Telecomunicaciones **Br. Denis Francisco Ortega Ortiz, Carnet: 2013-43776**, trabajo monográfico titulado **“Estudio técnico para el diseño de un radioenlace que garantice la interconexión entre el RUPAP y la finca agrícola experimental”**, del cual soy el tutor, luego de revisar la documentación correspondiente, considero que este ha llegado a su feliz término y se encuentra listo para realizar el proceso de defensa de rigor.

Agradeciendo su amable atención, quedo a la espera de sus instrucciones aprovechando la ocasión para reiterarle mis más sinceras muestras de consideración y respeto.

NOTA: Se anexan tres ejemplares del trabajo monográfico, para la defensa.

Atentamente,

Ing. Marlovio José Sevilla Hernández
Profesor Auxiliar
Tutor

Cc. Archivo



Móvil: (505) 8588 8333



Recinto Universitario Simón Bolívar
Avenida Universitaria.
Managua, Nicaragua.
Apdo: 5595



www.uni.edu.ni

Dedicatoria

A Dios, fuente de fortaleza y guía en cada paso de este camino. Su presencia constante y sus bendiciones han sido el motor que ha impulsado este logro, dándome claridad y esperanza en los momentos de mayor esfuerzo.

A mis padres, quienes, con su amor incondicional, sacrificio y ejemplo, han sido el soporte fundamental en mi vida. A ellos, que me han enseñado el valor de la perseverancia y la dedicación, les dedico este trabajo como muestra de mi profundo agradecimiento por todo lo que han hecho por mí.

A mi familia, por su apoyo, paciencia y confianza, y por ser el refugio donde siempre encontré aliento y ánimo para seguir adelante.

Finalmente, y no menos importante, a mi tutor, Marlovio José Sevilla Hernández, quien con su conocimiento, paciencia y compromiso me ha guiado en el desarrollo de esta monografía. Su dedicación y orientación constante han sido esenciales para alcanzar este logro, y siempre llevaré conmigo las valiosas enseñanzas que me ha brindado.

Gracias a todos ustedes, este proyecto es una realidad.

Denis Francisco Ortega Ortiz.

Resumen.

El presente proyecto se centra en la evaluación de la viabilidad técnica para establecer un enlace de radio que conecte la Finca Agrícola Experimental con el Recinto Pedro Arauz Palacios (RUPAP). El desarrollo de esta conexión es crucial para facilitar la comunicación y transferencia de datos en un entorno agrícola y académico. Este enlace de radio proporcionará una infraestructura de comunicación eficiente y confiable para mejorar la investigación y la operación en la finca experimental y fortalecer la conectividad en la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI).

En la era digital actual, el acceso a Internet es esencial para el desarrollo económico y social. Sin embargo, las áreas rurales a menudo carecen de una conectividad adecuada, lo que limita su acceso a recursos educativos, servicios de salud, oportunidades de empleo y participación en la economía global. Esta propuesta busca abordar este problema al proponer el uso de enlaces de microondas punto a punto como una solución viable para mejorar la conectividad en ambientes rurales.

Palabras clave: Enlace de radio, viabilidad técnica, microondas, diseño de enlace, conectividad, interconexión, análisis de interferencia, línea de vista (LoS).

ABSTRACT

This project focuses on the evaluation of the technical feasibility of establishing a radio link connecting the Experimental Agricultural Farm with the Pedro Arauz Palacios Campus (RUPAP). The development of this link is crucial to facilitate communication and data transfer in an agricultural and academic environment. This radio link will provide an efficient and reliable communication infrastructure to improve research and operation at the experimental farm and strengthen connectivity at the National Engineering University (UNI).

In today's digital age, Internet access is essential for economic and social development. However, rural areas often lack adequate connectivity, limiting their access to educational resources, health services, employment opportunities, and participation in the global economy. This proposal seeks to address this problem by proposing the use of point-to-point microwave links as a viable solution to improve connectivity in rural environments.

Keywords: Radio link, technical feasibility, microwave, link design, connectivity, interconnection, interference analysis, line of sight (LoS).

Abreviatura/Acrónimo

FADING	Atenuación/desvanecimiento
GHZ	Gigahercio band frequency
DBM	Signal strength
PDH	Digital hierarchy plesiochronous
MBIT/S	Megabits por segundo
DB	unit of measurement
VOIP	voice over internet protocolo.
UIT-D	Telecommunication Development Sector
UHF	Ultra-High Frequency
SHF	Super High Frequency
EHF	Extremely High Frequency
ITU	International Telecommunication Union
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
UIT-R	Radiocommunication sector

INDICE DE CONTENIDO

1	Introducción:	1
2	Objetivos:.....	3
2.1	Objetivo General:.....	3
2.2	Objetivos Específicos:.....	3
3	Justificación	4
4	Marco Teórico.....	6
4.2	Aplicación en las Comunicaciones.....	6
4.3	Zona de Fresnel.....	7
4.4	Modelos de Propagación por desvanecimientos.....	8
4.4.1	Reflexiones	8
4.5	Atenuación por lluvia	9
4.5.1	Margen de desvanecimiento	9
4.6	Umbral de recepción del radio.....	10
4.7	Parámetro de confiabilidad del enlace	11
4.8	Indisponibilidad en los radioenlaces microondas.	12
4.9	Propagación en el espacio libre.....	13
4.10.1	Tipo de polarización.....	15
4.10.2	Uso de la polarización.....	15
4.11	Características fundamentales de las ondas de radio.	16
	¿Cuáles son sus ventajas?	17
4.12	Radioenlaces digitales punto a punto fijos y transportables.....	17
4.12.1	PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DE UN RADIOENLACE PUNTO A PUNTO.....	18
4.13	Radioenlaces con sistemas redundantes de protección 1+1	19
4.14	Características de los radioenlaces fijos de microondas.....	22
4.15	Trayectos múltiples.....	24
4.16	Repetidor de un radio enlace.....	24
4.17	Margen de fading.....	25
4.17.1	Enfoque Multidimensional.....	27
5	Análisis y Presentación de Resultados.	29

5.1	Metodología.....	29
5.2	Desarrollo del tema.....	30
5.2.1	Transmisión de la información.....	30
5.2.2	Investigación agrícola.....	30
5.2.3	Educación practica.....	31
5.2.4	Conservación ambiental.....	31
5.2.5	Infraestructura y mantenimiento.....	31
5.2.6	Seguridad y acceso.....	31
5.2.7	Desarrollo comunitario.....	32
5.2.8	Programas Educativos y de Extensión:.....	32
5.3	Ubicación estrategia de las antenas:.....	32
5.3.1	Elección de frecuencia.....	33
5.3.2	Análisis de espectro.....	33
5.3.3	Potencia de transmisión.....	33
5.3.4	Enlace punto a punto.....	33
5.4	Dispositivo de un radio enlace.....	34
5.4.1	Ventajas de este medio de transmisión.....	35
5.5	Análisis de la viabilidad técnica.....	35
5.6	Asignación de banda de frecuencia.....	36
5.7	Nomenclatura de las bandas de frecuencias.....	36
5.7.1	Perdida por difracción.....	38
5.7.2	Perdida por desvanecimiento.....	38
5.7.3	Tipos de desvanecimientos:.....	39
5.7.4	Balance de potencia:.....	39
5.8	Interferencias.....	39
5.9	Línea de vista (LOS).....	41
5.9.1	Zona de Fresnel.....	41
5.9.2	La curvatura de la tierra.....	44
5.10.1	Cálculos para el diseño de un radio enlace.....	47
5.10.2	Atenuación total debido a la lluvia.....	47
5.10.3	Atentación por espacio libre.....	48

5.10.4	Perdida del equipo de transmisión/recepción.....	48
5.10.5	Perdida en guía de onda.....	49
5.11	Cálculos de la zona de Fresnel para el enlace	50
5.12	El Transductor Ortomodal (OMT)	52
5.13	Propósito de ajustes de Niveles XPD en un enlace de microondas.....	53
5.13.1	Alineación de enlaces.....	55
5.14	Características de los equipos a seleccionar	57
5.14.1	ODU Huawei rtn xmc-1 y xmc-2	58
5.15	Instrucciones de Instalación.....	66
	Características:	76
	Aplicaciones:.....	76
6	Conclusión y Recomendaciones.....	80
6.1	Conclusiones	80
6.2	Recomendaciones.	82
7	Bibliografía.....	85

INDICE DE FIGURA

Figura No. 1, Finca agrícola Experimental	2
Figura No. 2, Campo de cultivo.....	2
Figura No. 3, Recinto Universitario Pedro Arauz Palacios, UNI	2
Figura No. 4, Radio enlace de Microondas	5
Figura No. 5, Lóbulos de radiación de las zonas de Fresnel.....	7
Figura No. 6, Desvanecimiento por Multitrayectoria.....	9
Figura No. 7, Trayectoria de la señal recibida	10
Figura No. 8, Espectro electromagnético	14
Figura No. 9, Tipos de Polarización.....	15
Figura No. 10, Perfil de un enlace de microondas.....	18
Figura No.11, Radioenlace microondas en configuración 1+1	20
Figura No.12, Vano radioeléctrico con diversidad de espacios	22
Figura No. 13, Diversidad de espacios por reflexiones en la superficie del agua.....	24
Figura No. 14, Función de una repetidora de radio	25
Figura No. 15, Método de trabajo de un radio enlace.....	34
Figura No. 16, Referencia entre el suelo y línea de vista.....	42
Figura No. 17, Afectación de zonas de Fresnel.....	42
Figura No. 18, Representación de obstáculos.....	44
Figura No. 19, Efecto de la curvatura de la tierra.....	45
Figura No. 20, Vista panorámica de UNI y la finca experimental agrícola.....	46
Figura No. 21, Emplazamiento de torre en la Finca experimental.....	46
Figura No. 22, Emplazamiento de torre en el RUPAP.....	47
Figura No. 23, Polarización POL V.....	51
Figura No. 24, Polarización POL V, H	51
Figura No. 25, OMT	52
Figura No. 26, Tipos de Acopladores de Antena	53
Figura No. 27, Ajustes de niveles XPD.....	53
Figura No. 28, Configuración de Alineación en el módulo OMT	54

Figura No. 29, Tipos de Alineación.....	56
Figura No. 30, Avistamiento del relieve	57
Figura No. 31, Punto más bajo del RE	59
Figura No. 32, Geo-posición del punto A.....	60
Figura No. 33, Estructura de una antena Auto soportada.	60
Figura No. 34, Zona de Fresnel del punto A al Punto B	62
Figura No. 35, Performance de los puntos de conexión y factores de clima.....	72
Figura No. 36, Conexión del punto C al punto B	69
Figura No. 37, Línea de vista B Y C	71
Figura No. 38, Línea de vista desde UNI Central hacia punto C.....	72
Figura No.39, Línea de vista de Uní central hacia Punto C.....	76
Figura No. 40, Fibra OPGW	78
Figura No. 41, Torre de alta tensión	79

INDICE DE TABLA.

Tabla No 1, Factor de rugosidad “a”	12
Tabla No 2, Factor climático “b”	12
Tabla No.3, Nomenclatura de tabla de frecuencia.....	36
Tabla No. 4, Bandas de Frecuencia	37
Tabla No. 5, Relación frecuencia - distancia	37
Tabla No. 6, Especificaciones de ODU Huawei.....	58
Tabla No. 7, Especificaciones de los Transciver de la ODO	58
Tabla No. 8, Especificaciones de los transcivers de la ODU	59
Tabla No. 9, Especificaciones del transiver de la ODO, según la modulación	59
Tabla No. 10, Summary del radio enlace según software de Radwin	61
Tabla No. 11, Link de Configuración de la simulación en Radwin.....	62
Tabla No. 12, Detalles de materiales.....	63
Tabla No. 13, Notas de Instalación del radio enlace.....	64
Tabla No. 14, Notas de Instalación física en UNI-RUPAP	65
Tabla No. 15, Radio Commissioning Notes for UNI-RUPAP	65

Tabla No. 16, Datos de la finca Experimental-UNI Performance.....	66
Tabla No. 17, Datos del Performance UNI-RUPAP.....	66
Tabla No. 18, Disponibilidad Multiproyecto UIT-R P.530-17.....	67
Tabla No. 19, Datos del simulador LTC RADWIN PUNTA A Y B.....	69
Tabla No. 20, Configuración del Performance.....	70
Tabla No. 21, Sites Bill of materials.....	73
Tabla No. 22, PTP Summary.....	73
Tabla No. 23, Summary de los puntos... ..	73
Tabla No. 24, PTP Links Summary de los puntos... ..	74

Índice de Ecuaciones

Ecuación No. 1, Cálculos de la zona de Fresnel... ..	8
Ecuación No. 2, Probabilidad de interrupción en el enlace	10
Ecuación No. 3, Parametro de confiabilidad del enlace	11
Ecuación No. 5, Trayectos menores a 280 km	13
Ecuación No. 6, Confiabilidad	13
Ecuación No. 7, Propagación en el espacio libre... ..	14
Ecuación No. 8, Ecu. Friis.....	39
Ecuación No. 9, Cálculos de zona de Fresnel.....	43
Ecuación 10, Calculo de la 1era Zona de Fresnel.....	45
Ecuación No.11, cálculos de perdida de señal	48
Ecuación No. 12, ecuación general para la pérdida	48
Ecuación No. 13, Perdida por guía de onda.....	50

1 Introducción:

En la era digital actual, el acceso a Internet es esencial para el desarrollo económico y social. Sin embargo, las áreas rurales a menudo carecen de una conectividad adecuada, lo que limita su acceso a recursos educativos, servicios de salud, oportunidades de empleo y participación en la economía global. Esta propuesta busca abordar este problema al proponer el uso de enlaces de microondas punto a punto como una solución viable para mejorar la conectividad en ambientes rurales.

El presente proyecto se centra en la evaluación de la viabilidad técnica para establecer un enlace de radio que conecte la Finca Agrícola Experimental con el Recinto Pedro Arauz Palacios (RUPAP). El desarrollo de esta conexión es crucial para facilitar la comunicación y transferencia de datos en un entorno agrícola y académico. Este enlace de radio proporcionará una infraestructura de comunicación eficiente y confiable para mejorar la investigación y la operación en la finca experimental y fortalecer la conectividad en la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI).

El presente proyecto se limita a cierto tipo de frecuencia, potencia y distancia, razón por la cual se enfocará a brindar opciones de soluciones, desde el punto de visto técnico.

Sin embargo; antes de iniciar con la elección de los equipos a proponer, es de vital importancia, definir claramente qué tipo de información es la que se desea traficar por dicho enlace, así como el ancho de banda requerido cuantos nodos serán necesarios y su respectiva ubicación, para que la información llegue a su destino sin dificultad y que tipo de enlace es el más adecuado.

Finalmente se realizará una comparación con otros equipos que permiten establecer el mismo tipo de enlace, para realizar la propuesta más óptima, para el

funcionamiento del sistema de telecomunicaciones requeridos, y así poder seleccionar los equipos más adecuados en cuanto a: calidad, capacidad los equipos, garantizando en una futura instalación dando mejores beneficios para el enlace ya establecido.

A continuación, se muestran imágenes de referencia para la interconexión de ambos puntos.



Figura No. 1, Finca agrícola Experimental



Figura No. 2, Campo de cultivo



Figura No. 3, Recinto Universitario Pedro Arauz Palacios, UNI.

2 Objetivos:

2.1 Objetivo General:

- Determinar la factibilidad técnica para el diseño de un enlace de radio que conecte la Finca Agrícola Experimental con el Recinto Universitario Pedro Arauz Palacios (RUPAP).

2.2 Objetivos Específicos:

- Realizar un análisis detallado de las necesidades de comunicación y conectividad entre la Finca Agrícola Experimental y el Recinto Universitario Pedro Arauz Palacios (RUPAP).
- Evaluar una solución del enlace de radio que se ajuste a las necesidades y requisitos técnicos específicos.
- Analizar la viabilidad técnica, considerando factores como el alcance, la interferencia y la estabilidad de la conexión.
- Proponer un diseño detallado del enlace de radio recomendado, incluyendo especificaciones técnicas, configuración, y consideraciones para su posible implementación.

3 Justificación

La justificación para el análisis de viabilidad en el desarrollo de un enlace de radio entre la Finca Agrícola Experimental y el Recinto Pedro Arauz Palacios (RUPAP) se fundamenta en la importancia de establecer una comunicación efectiva y confiable entre estos dos entornos para mejorar la eficiencia operativa, la investigación agrícola y la educación. Varios puntos fundamentales respaldan esta necesidad:

1. Mejora en la Operatividad Agrícola: La Finca Agrícola Experimental requiere una interconexión efectiva con el Recinto Pedro Arauz Palacios (RUPAP) para facilitar la supervisión y el intercambio de datos en tiempo real. Esto permitiría un control más preciso de las condiciones ambientales, el monitoreo de los cultivos, la gestión de riegos y la toma de decisiones en tiempo real para mejorar la productividad agrícola.

2. Fomento de la Investigación y la Educación: La comunicación fluida y eficiente entre la Finca Agrícola Experimental y el Recinto Pedro Arauz Palacios (RUPAP) es crucial para la investigación y la educación agrícola. La posibilidad de intercambiar datos, hallazgos y resultados en tiempo real proporciona un entorno más propicio para el aprendizaje, la colaboración y el progreso de la investigación.

3. Optimización de Recursos: La implementación de un enlace de radio entre estas dos localidades permite una optimización de recursos al facilitar la coordinación entre los equipos de trabajo, evitando desplazamientos innecesarios y optimizando el uso de recursos materiales y humanos.

4. Promoción de la Innovación Tecnológica: El establecimiento de un enlace de radio implica la aplicación de tecnologías avanzadas de comunicación. Este proyecto representa una oportunidad para explorar y aplicar soluciones tecnológicas actuales, lo que fomenta la innovación y el desarrollo de habilidades técnicas.

5. Impacto en la Sostenibilidad y Eficiencia: La capacidad de realizar un monitoreo detallado y en tiempo real de las condiciones agrícolas a través de este enlace de radio puede contribuir a la sostenibilidad al permitir ajustes precisos en el uso de recursos como el agua y la energía, reduciendo el desperdicio y mejorando la eficiencia general de la producción agrícola.

En resumen, el análisis de viabilidad para el desarrollo de un enlace de radio entre la Finca Agrícola Experimental y el Recinto Pedro Arauz Palacios (RUPAP) es esencial para mejorar la operatividad agrícola, fomentar la investigación y la educación, optimizar recursos, promover la innovación tecnológica y generar un impacto positivo en la sostenibilidad y la eficiencia en la producción agrícola. Este enlace representaría un avance significativo en la mejora de la conectividad entre estas dos áreas, proporcionando una plataforma fundamental para el progreso en la investigación y la educación agrícola.

A continuación, se muestran imágenes de referencia para la interconexión de ambos puntos. En Donde se puede observar la interconexión desde el punto A hasta el punto B, de esta manera se aprecia la función de un radio enlace, haciendo una interconexión, usando así el vacío del aire como medio de su transporte.

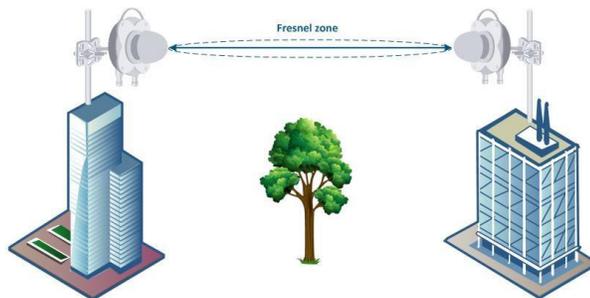


Figura No. 4, Radio enlace de Microondas

4 Marco Teórico

4.1 Radio Frecuencia.

El termino radio frecuencia, conocido también como espectro de radio frecuencia o RF, hace referencia a un rango energético del espectro electromagnético que trabaja entre los 3Hz y 300GHz, para conseguir la trasmisión de una onda electromagnética es necesario aplicar una corriente alterna originado en un generador hacia la antena. El ejemplo más claro es el de una estación de radio y un aparato receptor, como el de nuestro vehículo.

Esto quiere decir que el espectro electromagnético abarca desde las radiaciones con longitud de onda más pequeña (los rayos gamma) hasta las radiaciones con longitud de onda más amplia (las ondas de radio). La frecuencia de las ondas se mide en hercios. [1]

4.2 Aplicación en las Comunicaciones

Normalmente nos referimos a las ondas de radio como el medio con el que la radiofrecuencia llega a equipos de comunicación como walkie talkies y radios comerciales. Sin embargo, estas ondas abarcan todos los dispositivos de comunicación que tenemos. Como la televisión, el sistema GPS o las redes móviles. También están presentes en el mundo de los radioaficionados y cualquier otro tipo de elemento que cuente con un emisor y un receptor inalámbricos.

Hoy día es indispensable el acceso a los servicios de interconexión, a la super carretera de la información, pero se espera que esta sea estable y rápida, Sin embargo, aún hay situaciones en las que es difícil lograrla. Es el caso de zonas de difícil acceso para la conexión por cable o donde la cobertura es baja. En estos casos, la solución pasa por apostar por la conexión a Internet por radio enlace. [1]

4.3 Zona de Fresnel

La onda electromagnética que viaja desde una estación transmisora hacia una estación receptora tiene que encontrarse libre de obstáculos con el objetivo de que la señal no se reduzca significativamente, de esta manera se utiliza el 60% de la primera zona Fresnel que esté libre de obstáculos. Por consiguiente, se define Zona de Fresnel al 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° (60% libre de obstáculos), adoptando la forma de un elipsoide, a esta zona se le llama primera zona de Fresnel.

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 cumplir un enlace ideal. [2]

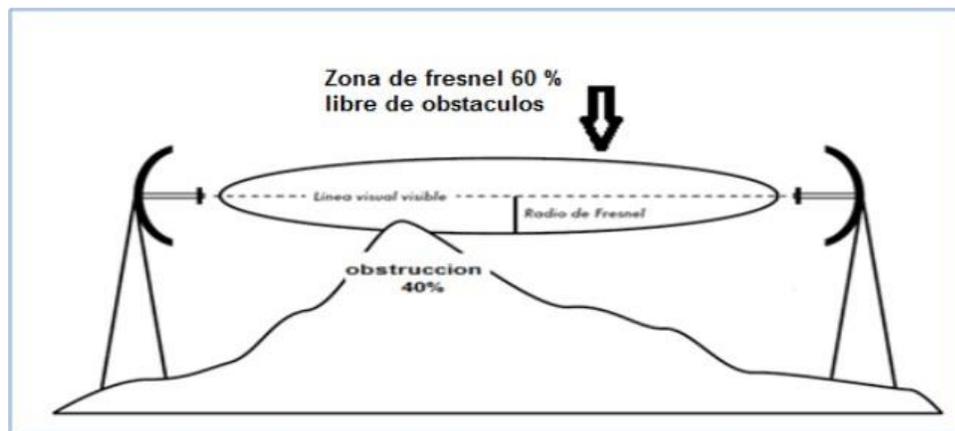


Figura No. 5, Lóbulos de radiación de las zonas de Fresnel

Para calcular la primera zona de Fresnel se utiliza la siguiente ecuación 1: Esta ecuación describe una elipse, pero para aplicaciones prácticas el radio R_{f1} podría ser aproximado por la fórmula:

$$Rf1 = n \sqrt{\frac{(d1)(d2)}{(f)(dT)}} \quad \text{Ecu No. 1, Cálculos de la zona de Fresnel}$$

Donde:

n = Constante de la zona de Fresnel

n=17,31

Rf1: Radio de la primera zona de Fresnel (m)

d1: Distancia desde el obstáculo al extremo emisor (km)

d2: Distancia desde el obstáculo al extremo receptor (km)

dt: Distancia total del enlace (m)

f: Frecuencia de transmisión del enlace (GHz)

4.4 Modelos de Propagación por desvanecimientos.

Uno de los problemas que presentan los enlaces de microondas punto a punto son los desvanecimientos, el cual son las pérdidas de potencia de la señal en toda su trayectoria, su unidad de medida se expresa en dB. Estos desvanecimientos se dan debido a desvanecimientos por multitrayectoria y por la atenuación de lluvia, estos factores se explicarán a continuación de forma detallada.

4.4.1 Reflexiones

Otro de los problemas que presentan los radio enlaces microondas punto a punto son los desvanecimientos producidos por multiproyectos. Esto se realiza cuando una onda de radio puede llegar al receptor a través de múltiples trayectorias debido a la reflexión de las ondas en superficies reflectoras (agua, rocas, árboles). La señal sufre interferencia que causan problemas en la recepción.

Un parámetro muy importante a tomar en cuenta en la propagación de una onda son sus reflexiones. Si la onda directa y la onda reflejada están defasadas 180° habrá lo que se llama desvanecimiento, esto se debe a las reflexiones del agua,

por lo tanto, para evitar el desvanecimiento especialmente en los enlaces que pasan por agua, se utiliza una altura adecuada en el tamaño de las torres donde la onda reflejada no se desfase en su trayectoria con el fin de obtener un buen funcionamiento del enlace. (Ver figura No. 3)

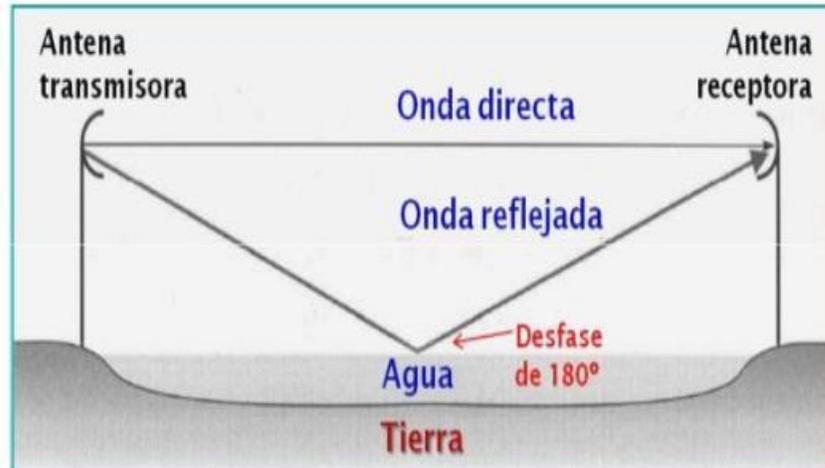


Figura No. 6, Desvanecimiento por Multitrayectoria.

4.5 Atenuación por lluvia

Otro parámetro que se toma en cuenta en la propagación de la onda electromagnética es debido a los factores atmosféricos especialmente las producidas por lluvia. Por lo tanto, es necesario calcular la atenuación producida por la lluvia, aunque la atenuación causada puede despreciarse para frecuencias por debajo de los 10 GHz.

4.5.1 Margen de desvanecimiento

El margen de desvanecimiento es la diferencia entre el valor de potencia de la señal recibida y el nivel de umbral de recepción del radio, es el principal parámetro en el modelo de cálculo de la disponibilidad del enlace, en donde el margen de desvanecimiento asegura el buen funcionamiento del enlace, según la recomendación UIT-R 530 de manera que a mayor sea este valor menor será la

probabilidad de interrupción en el enlace.

Este factor se calcula mediante la ecuación No. 2, la cual se expresa como

$MD = Pr - UN$, Ecuación No. 2, Probabilidad de interrupción en el enlace.

Donde: MD= Margen de desvanecimiento

Pr= Potencia recibida

UN= Nivel de umbral

4.6 Umbral de recepción del radio.

Para el diseño de un radioenlace se toma en cuenta la trayectoria de la señal (Nivel de entrada), es por eso que se traza un objetivo de calidad (A esto se le llama umbral de recepción del radio). Si la señal recibida se encuentra por debajo del umbral el enlace se considera cortado (Nivel de corte); Este umbral trata de establecer un valor en la señal recibida que asegura el funcionamiento del enlace con una confiabilidad mínima del 99.9664.

La siguiente figura muestra la señal recibida en función del tiempo durante un fenómeno de desvanecimiento en su trayectoria.

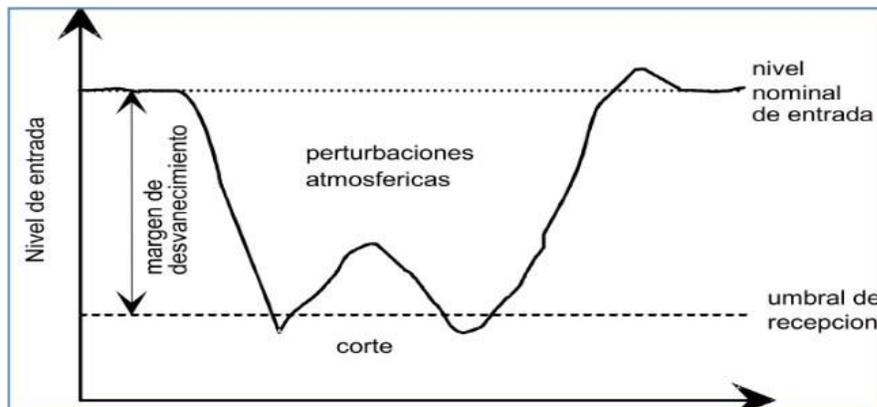


Figura No. 7, Trayectoria de la señal recibida.

Como se muestra en la Figura No. 6, a mayor margen de desvanecimiento, menor probabilidad de que la señal decaiga por debajo del nivel umbral de recepción del radio. El comportamiento tanto de los desvanecimientos producidos por perturbaciones atmosféricas causan desvanecimientos en la señal recibida. Por lo tanto, se corta el funcionamiento del sistema. Consecuentemente, el funcionamiento del sistema se mejora aumentando el margen de desvanecimiento. Esto se puede alcanzar utilizando torres muy altas.

4.7 Parámetro de confiabilidad del enlace

El parámetro de confiabilidad del enlace corresponde al tiempo probabilístico en el cual un radioenlace se mantiene trabajando es decir transmitiendo información. El método escogido para realizar este cálculo es el de Vigants Barnett, donde se toma en consideración el margen de desvanecimiento, las características climáticas y la topografía del terreno, todo esto se utiliza para predecir el comportamiento de la transmisión de la señal.

Por consiguiente, la confiabilidad e indisponibilidad de un radioenlace se calcula a través de las siguientes ecuaciones:

$$P = 6 \times 10^{-7} \cdot a \cdot b \cdot f \cdot d^3 \cdot 10^{-MD/10},$$

$$R = (100 - P) \cdot 100, \text{ ecuación No. 3 Parámetro de confiabilidad del enlace}$$

Donde:

P= Indisponibilidad

R= Confiabilidad

f= Frecuencia (MHz)

d= Distancia total del trayecto (Km)

MD= Margen de desvanecimiento (dB)

a= Variable tipo de terreno del enlace. (ver tabla 1)

b= Factor climático del lugar del enlace. (ver tabla 2)

Tabla No 1. Factor de rugosidad “a”

a	Tipo de terreno
4	Terreno muy suave o agua
1	Terreno poco montañoso
1/4	Terreno montañoso

Tabla No 2. Factor climático “b”

b	Tipo de terreno
1/2	Zonas con costas
1/4	Clima con temperatura normal
1/8	Zonas montañosas o muy secas

4.8 Indisponibilidad en los radioenlaces microondas.

Los objetivos de indisponibilidad para radioenlaces microondas se definen en las recomendaciones UIT-R F.557-4 UIT (Unión Internacional de Telecomunicaciones) y UIT-R F.695 en donde se propone como valor provisional una indisponibilidad del 0,3%. El porcentaje debe evaluarse durante un periodo de tiempo suficientemente largo, probablemente superior a un año para que sea válido estadísticamente.

Se estipula que el 0.3% del tiempo se distribuya de forma proporcional a la distancia del enlace, hasta una distancia mínima de 280 Km por debajo de la cual el porcentaje de indisponibilidad se mantiene constante. Se ha procedido así para evitar cifras de indisponibilidad excesivamente pequeñas en enlaces cortos que

serían difíciles de conseguir como el enlace entre el Archipiélago de Solentiname y San Carlos, por lo tanto, el objetivo de indisponibilidad es: Trayectos menores a 280 km.

$$P_T = \frac{0.3 * 280}{2500} \%, \text{ ecuación No. 5, Trayectos menores a 280 km}$$

$$P_T = 0.0336\%$$

Donde P_T = Porcentaje de disponibilidad (%)

Este valor es la indisponibilidad porcentual propuesta por la UIT para enlaces de trayectorias menores de 280 km.

Su objetivo de confiabilidad está dado por la siguiente ecuación:

$$R_T = (100 - P_T)\%, \text{ Ecuación No. 6, Confiabilidad}$$

$$R_T = (100 - 0.0336) \%$$

$$R_T = 99.9664 \%$$

R_T = Confiabilidad del enlace

4.9 Propagación en el espacio libre

Este modelo se deduce de las ecuaciones de Maxwell y permite calcular la potencia recibida a cierta distancia en condiciones ideales, es decir sin obstáculos de ninguna naturaleza. Se compone de una expresión matemática que se utiliza para la propagación general de una señal. Este tipo de propagación define la cantidad de fuerza que la señal pierde durante la trayectoria entre transmisor y el receptor. La propagación del espacio libre depende de la frecuencia y la distancia del enlace. El cálculo se realiza mediante la siguiente ecuación.

$P_{el} \text{ (dB)} = 32.45 + 20\log_{10}(d) + 20 \log_{10} (f)$, Ecuación No. 7, Propagación en el espacio libre.

$P_{el} \text{ (dB)} =$ Perdida de propagación en el espacio libre (dB)

f= Frecuencia (MHz)

d= Distancia total del enlace (Km) [3]

La forma de propagación de las ondas electromagnéticas se genera por la aceleración de una carga eléctrica. Estas viajan a una velocidad cercana a los 300.000 km/s, sin embargo; cuando estas viajan a través de la materia las velocidades que alcanzan son mucho menores; a mayor densidad menor velocidad.

La radiación electromagnética se propaga por el universo como ondas interactivas de campo eléctrico y campo magnético; y se puede ordenar en un espectro que va desde ondas de frecuencias elevadas hasta ondas de frecuencia muy bajas.

La luz visible es sólo una pequeña parte del espectro electromagnético que se extiende desde 700 nm hasta los 400 nm, según se muestra en la siguiente figura [2].

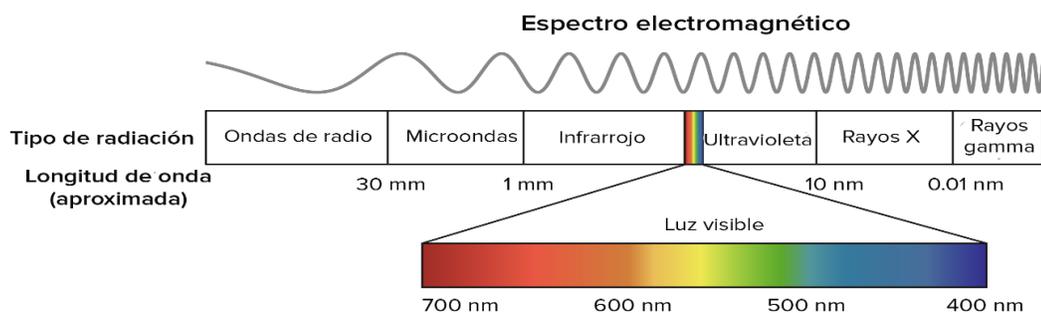


Figura No. 8, Espectro electromagnético

4.10 Polarización.

Es aquel fenómeno que se produce cuando el campo eléctrico oscila solo en un plano determinado, denominado plano de polarización. Este plano puede definirse por dos vectores, uno de ellos paralelos a la dirección de propagación de la onda y otro perpendicular a esa misma dirección, el mismo que indica la dirección del campo eléctrico.

4.10.1 Tipo de polarización.

Como se describió anteriormente la polarización está definida por la trayectoria que describe el campo eléctrico o magnético sobre un plano, en función de esto la polarización se clasifica en: Polarización lineal, circular, y elíptica. En el siguiente grafico se ilustra de mejor manera dicha clasificación, en donde el campo eléctrico está representado por el color azul los componentes X, Y por el color rojo y verde, el eje vertical representa el tiempo, y el color purpura es la trayectoria que describe el vector en el plano. [4]

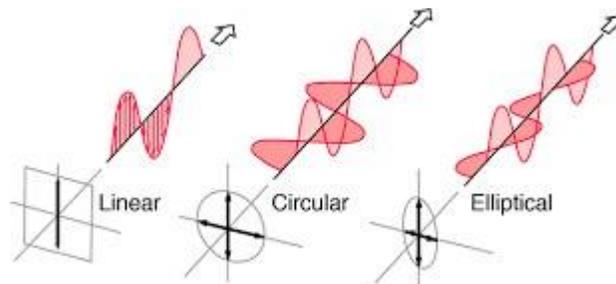


Figura No. 9, Tipos de Polarización.

4.10.2 Uso de la polarización.

Cada vez que se realiza un radioenlace, necesitamos el uso de antenas, para conseguir un mayor alcance para la señal a emitir, sin embargo, en el momento de instalarla nos encontramos con la posibilidad de elegir entre una polarización

horizontal o vertical, la diferencia está prácticamente que cuando se alinea verticalmente, los electrones solo se mueven de arriba hacia abajo, no a los lados (por qué no hay lugar hacia donde moverse) y por consiguiente los campos eléctricos solo apuntan hacia arriba o hacia abajo verticalmente. Por otra parte, la polarización horizontal, tendremos un movimiento de los electrones de izquierda a derecha, por lo tanto, esto se le conoce como una onda en polarización en línea horizontal.

Cabe señalar que cuando se alinean dos antenas, así consigamos los mejores niveles de señal, y si esta no se encuentra polarizadas correctamente, no podremos transmitir información por el enlace. [4]

4.11 Características fundamentales de las ondas de radio.

El comportamiento de las ondas dependerá del medio de transmisión, del tipo de información que se desee enviar, y de los equipos a utilizar. En resumen, las características principales de las ondas de radio son:

- La distancia que pueden llegar a recorrer, ya que dependerá de la potencia del equipo trasmisor.
- La cantidad de información que se podrá transmitir, esto dependerá de la cantidad de ondas que puedan entrar en un periodo de un segundo(frecuencia). Cuanto más rápida sea la oscilación o ciclo de la onda, mayor cantidad de información puede transportar.
- Cuando más cortas sea la onda más alta será su frecuencia.
- Las ondas con longitudes de ondas más largas tienden a viajar más lejos que las que tienen longitudes de onda más cortas.

¿Cuáles son sus ventajas?

Las conexiones a Internet por radio enlace WiFi proporcionan cobertura a zonas donde es difícil dar servicio con otras tecnologías. Pero hay muchos otros puntos a favor:

- Capacidad de transmitir gran cantidad de datos. Logramos un gran ancho de banda de forma continua, sin cortes ni pérdidas de rendimiento permitiendo disfrutar de una conexión de alta calidad, aunque la localización no sea la mejor.
- Costes bajos. La ausencia de cable reduce considerablemente el coste. Podemos valernos de cualquier sitio elevado para la instalación de las antenas con un coste muy reducido. Con una daremos cobertura a una gran extensión de terreno.
- Instalación rápida. En la conexión por radio enlaces solo necesitamos instalar las antenas en la localización idónea y un router WiFi para acceder a la señal. [5]

4.12 Radioenlaces digitales punto a punto fijos y transportables

Cuando se realiza un despliegue de redes de telecomunicaciones, o se quieren establecer enlaces de datos punto a punto, en ocasiones resulta inviable realizar un tendido de cables de fibra óptica, de manera rápida, porque hay que realizar una obra muy costosa y de larga duración.

Se recurre en estas situaciones a la utilización de sistemas de radiocomunicación punto a punto, que en la mayoría de las ocasiones son fáciles de desplegar puesto que se utilizan emplazamientos que se encuentran ya construidos en sitios elevados, utilizados ya anteriormente con otros radioenlaces de microondas, prácticamente siempre con línea de vista (line of sight o LOS) entre los equipos de radio (o sus antenas al menos) y que deben como mucho, reacondicionarse para los nuevos equipos a instalar.

Estos cambios, por experiencia propia, pueden ir desde aumentar la potencia de los equipos de alimentación de tensión continua, pasando por desmontar equipos obsoletos y apagados desde hace tiempo o hacer una pequeña sala para añadir los nuevos equipos. [3]

4.12.1 PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DE UN RADIOENLACE PUNTO A PUNTO

Un esquema típico de un radioenlace bidireccional (analógico o digital), equipado, por ejemplo, con tres vanos repetidores, es el que he dibujado debajo.

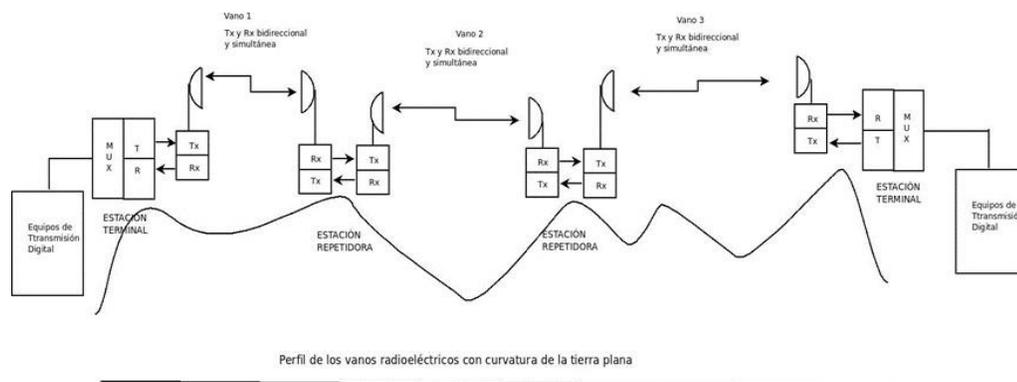


Figura No. 10, Perfil de un enlace de microondas.

Se puede observar que en las estaciones terminales he añadido un "mux" o multiplexor de datos, que puede ser un equipo PDH que transmita 140 Mbits/s o SDH y transmita 155 Mbit/s hacia la otra estación terminal. A la vez que se transmite desde un terminal, se recibe la trama del terminal situado en el extremo contrario del enlace.

Esta señal de datos, se modula sobre una portadora de radiofrecuencia, que dependiendo de la capacidad de tráfico del equipo (2, 8, 34, 140 Mbit/s en PDH (Plesiochronous Digital Hierarchy) o hasta 155 Mbit/s en SDH (Synchronous Digital Hierarchy)) podrá ir desde unos 2 GHz (baja capacidad) hasta típicamente 8 GHz (alta capacidad).

Cuando se tratan de enlaces con vanos radioeléctricos cortos, como son los típicos de los radioenlaces para unir estaciones base de móviles entre sí o hacia una RNC (telefonía móvil 3G), se trabaja con frecuencias entre 18 a unos 40 GHz. En estas bandas, los sobre alcances son bastante bajos por la atenuación introducida por el espacio libre. [3]

La banda de 2 a 8 GHz, en telecomunicaciones normalmente la conoceréis en estos equipos como "enlaces de microondas" y en ocasiones, pueden llegar a utilizarse frecuencias de hasta 40 GHz, pero para situaciones que requieren muchísimo tráfico y muy corto alcance (pocos kilómetros o cientos de metros), como indiqué antes.

Siguiendo con el esquema de arriba, en la estación repetidora del vano 1, la señal recibida de la estación terminal, se retransmite hacia el vano 2, que a su vez la retransmitirá hasta llegar a la estación terminal situada en el vano 3 del radioenlace. Pero a la vez que la primera estación repetidora repite la señal hacia el vano 2, repite la señal procedente del vano 2 y la envía hacia la estación terminal situada en el vano 1, hacia su lado de recepción.

Es decir, en este ejemplo, el radioenlace es bidireccional: a la vez que transmite información, también la recibe. Esto no es siempre así, hay situaciones que requieren máxima fiabilidad y solo es necesario transmitir en un sentido y se orientan los equipos de transmisión en un sentido y de recepción hacia el otro. [3]

4.13 Radioenlaces con sistemas redundantes de protección 1+1

En un radioenlace normal, como en el ejemplo que he dibujado con 3 vanos repetidores, en el caso de que una de las estaciones repetidoras tuviera un problema de funcionamiento, ya sea por una avería o un efecto radioeléctrico (atenuación excesiva por fading selectivo, formación de conductos, etc.), todo el sistema quedaría inutilizado. Podíamos estar recibiendo señal de una estación

terminal, por ejemplo, y en la otra terminal estar cortada la recepción por esa avería o problema de propagación.

Para evitar esta situación, se utilizan configuraciones de equipos que tratan de minimizar ese efecto. Así, si tenemos un equipo cuya información es vital que llegue a su destino, configuramos sistemas redundantes (sistemas en los que algunos módulos están duplicados para garantizar la seguridad de los datos) en los que, como es el caso del ejemplo, configuramos los radioenlaces para que solo transmitan la señal desde una estación terminal hacia la otra, a través de dos frecuencias diferentes, pero sin recepción del terminal remoto. Esta técnica que consiste en transmitir la misma señal en dos frecuencias diferentes se conoce como diversidad de frecuencias.

En el dibujo del ejemplo, si tenemos una transmisión de televisión muy importante que queremos proteger, enviamos la señal de televisión por dos radiocanales (equipos de radio) diferentes de manera simultánea (esa es la redundancia) hasta el terminal remoto. Si fallara uno de los equipos, el otro es improbable que falle, garantizando la recepción de la señal de televisión que es tan importante para nosotros.

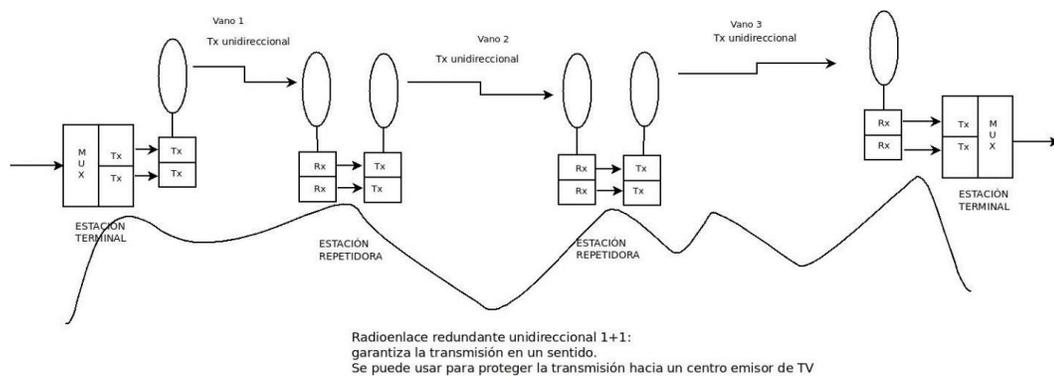


Figura No.11, Radioenlace microondas en configuración 1+1.

Se puede ver que, en el terminal situado a la izquierda se transmite por ejemplo una señal de TV a través de dos radiocanales diferentes (aunque una sola antena) hacia el otro terminal situado, por ejemplo, en Torrespaña donde van a recibir la

señal de TV en dos canales. En el centro emisor se elige la señal de mejor calidad y la otra se sigue recibiendo por si fallara la señal principal. [3]

Otra manera de proteger la transmisión de la señal en un radioenlace, aparte de añadir un canal unidireccional, podría ser añadir en los vanos en los que se ha detectado problemas de fading, del tipo que sea, es añadir un sistema de diversidad de espacios.

La diversidad de espacios consiste en añadir dos antenas de recepción en el vano problemático, normalmente en las dos estaciones del vano, de forma que se añaden un receptor normal y un receptor de diversidad sincronizados de forma que, si la señal que se recibe en el receptor normal es muy baja, cercana a tener BER y en el receptor de diversidad, el nivel recibido es alto, automáticamente se recoge la información del receptor de mejor calidad de señal.

En este otro dibujo tenemos un ejemplo de diversidad de espacios en una estación repetidora del radioenlace: hay un lago que produce reflexiones de la señal del radioenlace de microondas y tenemos problemas de nivel de recepción, añadimos una antena parabólica adicional de diversidad con su correspondiente receptor y reducimos el problema del nivel de señal recibido a la mínima expresión. Al estar una antena varios metros debajo de la otra, la señal de radiofrecuencia en la antena normal debe de recorrer un espacio de 8-9 metros más que la antena de diversidad situada justamente debajo, en el lugar que se haya calculado con el programa de análisis de propagación; este retardo entre una señal (a señal que llega por la antena normal) y la otra (la señal recibida por la antena de diversidad) se compensa en cierta manera añadiendo unos metros de cable adicionales enrollados junto a la antena de diversidad; así, el desfase entre ambas señales se reduce notablemente, aunque requiere una compensación adicional en algún punto del camino de la señal de radiofrecuencia. [3]

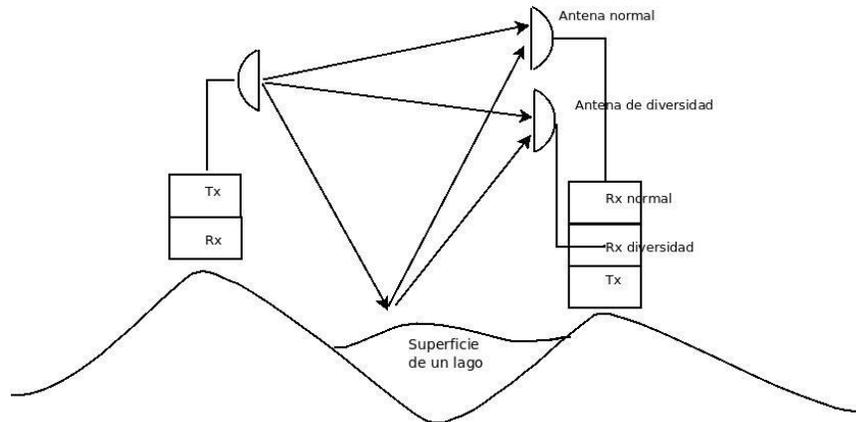


Figura No.12, Vano radioeléctrico con diversidad de espacios

4.14 Características de los radioenlaces fijos de microondas.

Puesto que las ondas de radio son ondas electromagnéticas que se propagan por el espacio, debemos de tener en cuenta en ellas las siguientes propiedades:

- Reflexión.
- Refracción.
- Difracción.

Estas propiedades de las ondas electromagnéticas nos van a influir en el comportamiento de las ondas de radio, especialmente en la banda de microondas utilizadas en los sistemas de telecomunicación profesionales: hay que garantizar que la transmisión de la información no se interrumpa y que, si es así, tengamos alternativas para no perder esa información.

Por otro lado, debido a que en las bandas de 2-38 GHz que son las bandas utilizadas en los radioenlaces fijos hay frecuencias más propensas a sufrir atenuaciones por las condiciones atmosféricas, en otras por formación de conductos, reflexiones, etc., debemos de conocer muy bien la banda de frecuencias de los equipos para evitar los problemas que nos puedan provocar en el funcionamiento de nuestros equipos.

Algunas de las características básicas que deben de cumplirse en los radioenlaces de microondas, como ya he puesto en otras páginas, serían:

Las antenas parabólicas tienen que tener línea de vista (Line of Sight), para garantizar máximo nivel de señal recibido sin obstáculos que corten o interfieran el trayecto directo de la señal de radiofrecuencia.

Si hay posibilidades de pérdidas de señal, se puede recurrir a la utilización de técnicas de diversidad de espacios (instalación de dos antenas parabólicas separadas una distancia precalculada cada una de ellas conectada a un receptor de microondas) o a las técnicas de diversidad de frecuencias.

Se debe de analizar el clearance del vano radio, es decir, que en el caso de que haya obstáculos entre las dos antenas que constituyen el vano radioeléctrico, no provoquen interferencia o pérdidas en el nivel de señal que se recibe.

Se debe de garantizar que se alcance la tercera (3) zona de Fresnell, donde la señal de radiofrecuencia que se emite hacia la otra antena del vano.

Se debe de garantizar el margen de fading establecido por la compañía de telecomunicaciones para garantizar la disponibilidad del servicio.

Deberemos igualmente de haber analizado las reflexiones/difracciones del vano radio (por ejemplo, si hay en el vano radioeléctrico una gran superficie de agua, como puede ser un lago que se forme durante un período de lluvias, éste se puede comportar como un espejo y producirnos trayectos múltiples de la señal de radiofrecuencia a determinadas horas); este último fenómeno puede obligarnos a instalar un sistema con diversidad de espacios o lo que es lo mismo: instalar dos antenas de recepción, conectadas cada una a un receptor de radio de forma que si un receptor se corta la señal recibida, por el otro receptor se siga recibiendo señal. [5]

4.15 Trayectos múltiples.

El fenómeno de trayectos múltiples es fácil de explicar: imaginemos que tenemos un rayo láser de color verde, que tiene un haz principal que apunta hacia una pantalla de color negro y un lóbulo secundario que rebota en un espejo situado en el suelo. Al tratarse de ondas electromagnéticas, éstas se pueden reflejar en el espejo situado en el suelo y llegar al mismo punto donde llega el haz principal del rayo láser de color verde.

Si la fase del haz principal llega en un máximo de señal y el haz que llega rebotado a ese mismo punto del haz reflejado está en oposición de fase, las señales se restan y baja la potencia recibida. En el peor de los casos, si las amplitudes de las señales fueran iguales, el haz verde dejaríamos de verlo reflejado en la pantalla de color negro.

En el caso de un radioenlace, vuelvo a referir el perfil de un receptor de diversidad

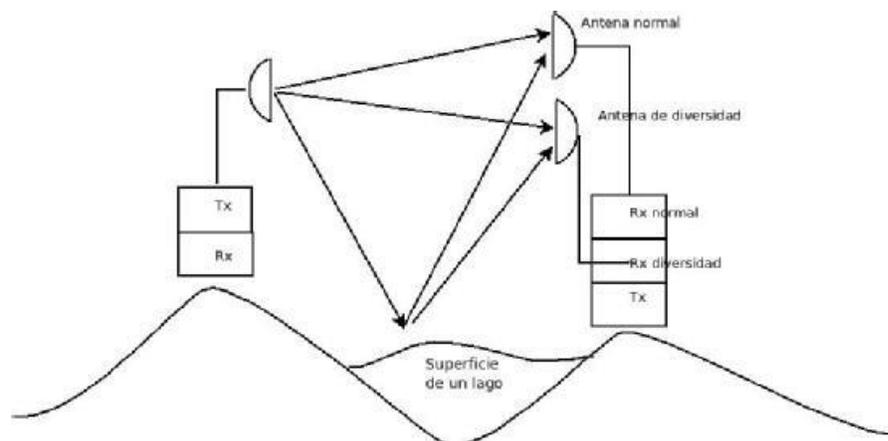


Figura No. 13, Diversidad de espacios por reflexiones en la superficie del agua.

4.16 Repetidor de un radio enlace

Una repetidora de radio enlace, también conocida como repetidora de radio, es un dispositivo que se utiliza en las comunicaciones por radio para amplificar y

extender la cobertura de una señal de radio. Su función principal es recibir una señal de radio débil o deteriorada, amplificarla y retransmitirla a una potencia mayor, lo que permite que la señal alcance distancias más largas y cubra áreas más extensas.

En resumen, una repetidora de radio enlace funciona amplificando y retransmitiendo señales de radio para extender su alcance y mejorar su calidad. Este dispositivo desempeña un papel crucial en la comunicación inalámbrica, como en sistemas de radioaficionados, servicios de emergencia, telecomunicaciones y más. [3]

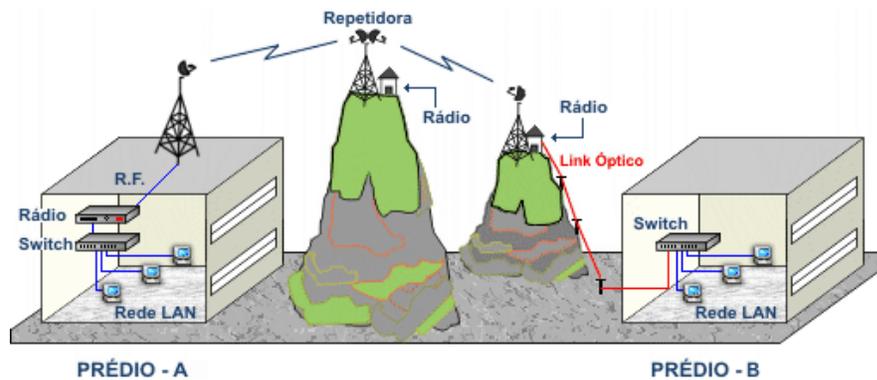


Figura No 14, Función de una repetidora de radio

4.17 Margen de fading

Uno de los requisitos que suelen querer garantizar las compañías de telecomunicaciones que utilizan radioenlaces de microondas, es garantizar que, aunque se produzca una pérdida de señal por desvanecimiento, fading selectivo, trayectos múltiples, formación de conductos, etc. el nivel de señal mínimo recibido en la antena, debe ser mayor a la sensibilidad del receptor en unos órdenes de magnitud fijados por la empresa de telecomunicaciones. Esto es conocido como margen de fading y lo establecen las operadoras de telefonía/datos para garantizar una calidad de servicio mínima (Service Level Agreement o SLA).

Veamos con un ejemplo qué es el margen de fading:

Supongamos que tenemos un radioenlace digital con tecnología PDH (jerarquía digital plesiosíncrona) a 140 Mbit/s, transmitiendo en la banda de 8 GHz y con una potencia de transmisión en antena de + 30 dBm y al que el fabricante garantiza una tasa de error de 10^{-6} cuando el nivel de señal recibido es de -73 dBm; asimismo, garantiza un nivel de 10^{-3} cuando este nivel cae a -77 dBm. Para haceros una idea, un margen de 10^{-6} supone oír en una conversación telefónica un pequeño ruido de fondo; sin embargo, en el caso de un nivel de 10^{-3} escucharíamos muchísimo ruido, con cortes de la señal de audio; en ese nivel de BER (binary error ratio) el radioenlace genera una señal de alarma.

Si la compañía de telefonía quiere garantizar un margen de fading de 40 dB (es decir, la señal puede disminuir hasta 10.000 veces su valor nominal), el nivel de señal que se tendría que recibir sería aproximadamente de -33 dBm. Partiendo de este valor, se determina de manera aproximada la distancia que puede haber de separación entre la estación repetidora (o estaciones repetidoras, puedo poner varias estaciones repetidoras en cascada, una detrás de otra).

Nos falta contabilizar la ganancia de las antenas de emisión y de recepción, pero éstas las fija la compañía de telefonía: son, por ejemplo, dos antenas RFS Kabelmetal para 8 GHz, una para la recepción y transmisión normal y otra para la recepción de diversidad, con discriminación de polaridad, radomo de protección y una ganancia de unos 40 dB a dicha frecuencia y eso sí, unos 4 mts. de diámetro. Con estos datos, la compañía de telefonía puede establecer donde instalar el emplazamiento de las estaciones repetidoras de radio, la altura de las antenas parabólicas (antena normal y antena de diversidad). Hay disponibles multitudes de programas para realizar los estudios de propagación en el vano donde se va a instalar el radioenlace, que recurren a planos digitalizados que se le deben de suministrar al programa y a la información facilitada por la Secretaría de Estado de Telecomunicaciones (o el órgano competente en cada momento) que detalla qué radioenlaces se encuentran en las proximidades de nuestros emplazamientos, para analizar las interferencias que nos pueden ocasionar.

Los radioenlaces típicamente se han utilizado en zonas montañosas, dada la dificultad de realizar canalizaciones subterráneas en las montañas, barrancos, ríos, etc., básicamente como redes redundantes a las redes cableadas. Si, por ejemplo, una red de fibra óptica erra destrozada por una excavadora, por un tractor, etc., se reencaminaba el tráfico a través de estos equipos.

Ahora mismo, con las redes 3G, 4G y 5G, las capacidades de estos radioenlaces se quedan a años luz de la capacidad que tienen las fibras ópticas para la transmisión de datos, pero si se necesita restablecer solo las comunicaciones telefónicas y no las de datos, como era su planteamiento inicial, eran suficientes. Los radioenlaces de microondas ahora mismo desplegados por las operadoras de telefonía trabajan mayoritariamente en las bandas de 18, 26 y 38 GHz. Hay que tener en cuenta que no se transmite más que +27 dBm de potencia y los alcances de cada vano suelen ser cortos: varios kilómetros para enlazar las estaciones base con el **Network Operation Center** (otras compañías lo llaman Centro Nacional de Supervisión y Operación) a través de un canal de supervisión, independiente o suplementario a la red de datos de las estaciones base.

En ocasiones, estos enlaces de microondas se interrumpen porque cae el nivel de señal por debajo del margen de fading: lluvia intensa, neblina, etc. debido a que la frecuencia de resonancia del oxígeno aumenta la atenuación de la señal de una forma brusca, cortando el tráfico telefónico y de datos. [2]

4.17.1 Enfoque Multidimensional

Nos enfocamos en su problemática y afectación que puede tener un enlace de microondas punto a punto, todo tipo de condiciones naturales pueden llevar acabo algún tipo de interferencia en el enlace, ya se datos, televisión o radios, entre otros. Las condiciones climáticas pueden tener un impacto significativo en estos enlaces, afectando la propagación de señales electromagnéticas, y por lo tanto la calidad

de la comunicación entre sí. Algunos factores que pueden influir en la afectación climatológica de un radio enlace incluyen:

- **Lluvia:** La lluvia puede causar atenuación en la señal de radio.
- **Niebla y neblina:** La niebla y la neblina también pueden dispersar las señales de radio, lo que lleva a la atenuación de la señal.
- **Tormentas eléctricas:** Las tormentas eléctricas pueden generar interferencias electromagnéticas que afectan la señal de radio.

5 Análisis y Presentación de Resultados.

5.1 Metodología.

Selección y Evaluación de Soluciones de Enlace de Radio: Se evaluó diversas soluciones de enlace de radio considerando factores como la frecuencia, capacidad, alcance y tolerancia a la interferencia.

Análisis de Viabilidad Técnica: Se analizó la viabilidad técnica de las soluciones propuestas, considerando aspectos técnicos, costos de implementación y mantenimiento.

Diseño y Propuesta de Enlace de Radio Recomendado: Se desarrolló un diseño detallado del enlace de radio más adecuado, incluyendo especificaciones técnicas, plan de implementación y consideraciones de seguridad.

Evaluación: Se evaluó la mejora potencial en la conectividad, velocidad de transmisión y acceso a servicios en las áreas rurales seleccionadas. Esto se realizó utilizando métricas de rendimiento, tales como:

Velocidad efectiva del enlace: Estabilidad de la conexión bajo diferentes condiciones climáticas.

Porcentaje de mejora en la conectividad respecto a las condiciones actuales.

Estas métricas fueron obtenidas a través de simulaciones realizadas en herramientas especializadas, validando el rendimiento y la fiabilidad del enlace propuesto.

5.2 Desarrollo del tema

Dentro de este Estudio abordamos las diferentes necesidades de comunicación que tenemos entre el Punto A (RUPAP) y el punto B (Finca agrícola Experimental)

La comunicación efectiva es fundamental para el funcionamiento exitoso de cualquier Institución o centro de estudio, en este caso La universidad nacional de ingeniería debe de mantener una comunicación con la finca para garantizar la transmisión de información, la participación de los estudiantes dentro de la finca para sus debidos laboratorios de prácticas, y él envió de datos desde ambos puntos, esto facilitara un ambiente de aprendizaje y trabajo colaborativo, promoviendo el éxito tanto académico como organizacional.

5.2.1 Transmisión de la información

La información fluye constantemente dentro de la universidad nacional de Ingeniería, y dentro de esta información es necesario que parte de ella sea transmitida directamente hasta la finca agrícola experimental, esto mediante de un transporte rápido y seguro como lo es un radio enlace. Esto garantizara que todos los miembros de la comunidad universitaria estén informados y actualizados.

Teniendo como dato que la universidad Nacional de Ingeniería (RUPAP), cuenta con la finca agrícola experimental, a través de ella pueden surgir diversas necesidades y consideraciones asociada. Estas varían dependiendo del tamaño, ubicación y objetivos de la universidad.

5.2.2 Investigación agrícola

Esta finca universitaria puede ser utilizada para la investigación en agricultura, ganadería, silvicultura u otras disciplinas relacionadas, también puede haber una

necesidad de personal especializado, y recursos financieros para llevar a cabo proyectos de investigación a futuros.

5.2.3 Educación practica

La finca puede servir como un entorno practico, para que los estudiantes adquieran habilidades prácticas en diferentes áreas además de la ingeniería, como lo es agronomía, veterinaria, gestión forestal etc. Estos tipos de necesidades pueden requerir infraestructuras educativas, programas de estudios específicos y supervisión por parte del personal docente.

5.2.4 Conservación ambiental

La finca incluye áreas naturales y ecosistemas frágiles, por ende, la universidad podría tener la responsabilidad de conservar y perseverar esos recursos. Esto implicaría la implementación de prácticas sostenible, estudios de impactos ambiental y medidas de gestión de la biodiversidad

5.2.5 Infraestructura y mantenimiento

Mantener la finca en condiciones adecuadas puede requerir inversiones en infraestructura, como edificios, vías de acceso, sistemas de riego, entre otros. Además, puede ser necesario establecer un programa de mantenimiento regular.

5.2.6 Seguridad y acceso

La seguridad de la finca y el control de acceso son preocupaciones importantes. Pueden ser necesarios sistemas de seguridad, personal de vigilancia y políticas para regular el acceso de estudiantes, profesores y personal.

5.2.7 Desarrollo comunitario

La presencia de una finca universitaria en una comunidad puede llevar a iniciativas de desarrollo comunitario. Esto podría incluir la participación de la comunidad en programas de agricultura sostenible, acceso a recursos educativos y oportunidades de empleo.

5.2.8 Programas Educativos y de Extensión:

La finca puede ser utilizada para desarrollar programas educativos y de extensión, involucrando a la comunidad y difundiendo información sobre agricultura sostenible, seguridad alimentaria y otros temas relacionados.

La conectividad entre la universidad nacional de ingeniería y la finca agrícola experimental, puede ser de gran importancia por diversas razones, claro estas van en dependencia de los objetivos y necesidades específicas de ambas instituciones, algunos aspectos pueden ser.

Para garantizar la conectividad de la universidad nacional de ingeniería y la finca agrícola experimental a través de un enlace de radio implica tomar medidas para optimizar la calidad y confiabilidad de la transmisión inalámbrica. Es necesario tener en cuenta lo siguiente:

5.3 Ubicación estrategia de las antenas:

Se tienen que colocar las antenas en lugares elevados y despejados para evitar obstáculos físicos que puedan interferir con la señal.

Asegurarse de que las antenas estén alineadas correctamente para maximizar la potencia de la señal.

5.3.1 Elección de frecuencia

La frecuencia de operación debe de ser adecuada para evitar interferencias con otras señales inalámbricas y minimizar la absorción de señales por objetos en el entorno.

5.3.2 Análisis de espectro

Es necesario un análisis del espectro para identificar posibles fuentes de interferencia y ajusta la configuración de frecuencia en consecuencia.

5.3.3 Potencia de transmisión

Ajusta la potencia de transmisión según las necesidades reales. Un exceso de potencia puede causar interferencias, mientras que una potencia insuficiente puede resultar en una conexión débil.

Evaluación de las posibles soluciones de enlace de radio que se ajusten a las necesidades y requisitos técnicos específicos.

Hoy en día cualquier institución en particular necesita una conexión a internet estable y rápida, y más cuando tienen departamentos de estudios fuera de sus instalaciones, como lo es la finca experimental, está la posee la institución Universidad nacional de ingeniería UNI-RUPAP, es necesario garantizar entre ambas partes una conexión segura para su debida comunicación y transferencia de datos por ambas partes.

5.3.4 Enlace punto a punto

Este tipo de enlace es un sistema de conexiones entre dos o más terminales(antena) que utilizan ondas electromagnéticas para transmitir datos, ya

sea para dar servicios de operador VOIP, servicios de telefonía móvil para empresas internet etc.

Una antena se encargará de enviar la información y la otra se encargará de recibirlos para así facilitar la información hasta en los lugares que sea más difícil por el lugar geográfico o los costes que supondría.

Los radios enlaces también son útiles si tienes varias empresas y quieres enviar información fácil y rápidamente o su localización es en algún sitio rural.



Figura. No. 15, Método de trabajo de un radio enlace.

5.4 Dispositivo de un radio enlace.

Los radios enlace componen 2 elementos.

Equipos terminales: Se encargan de enviar la información y recibirla. Es importante que estén en un lugar alto y sin obstáculos para una mejor calidad de señal.

Repetidores intermedios: Recibe y reenvía la información a los terminales para no perder calidad en la información. Cuanta más distancia haya, más terminales tendremos que poner. También salvan la falta de visibilidad en localizaciones donde haya obstáculos, por eso se ponen en sitios altos.

5.4.1 Ventajas de este medio de transmisión

Transmisión de grandes cantidades de datos: Con la gran cantidad de antenas repartidas por toda España, los radio enlaces son capaces de enviar grandes cantidades de datos sin perder calidad ni fluidez alguna.

Costes Bajos: Gracias a la tecnología de las antenas, no es necesario la instalación de cables (Fibra, coaxiales) Lo cual reduce mucho su precio a la hora de la instalación, ajustándose el presupuesto a las necesidades de cada cliente.

Instalación rápida: En algunas instalaciones de otras tecnologías como la fibra óptica, era necesario hacer obras y tener permiso administrativo para realizarlas, pero gracias a los radios enlaces esto no es necesario, ya que simplemente con un sito elevado es suficiente para realizar la instalación de una antena y disfrutar de internet de alta velocidad y los diferentes servicios que ofrecen los radio enlaces punto a punto. [16]

5.5 Análisis de la viabilidad técnica.

La fiabilidad de los equipos de radiocomunicaciones suele ser elevada, pero dado que esto se encuentran en ocasiones en lugares de difícil acceso (colinas, torres de comunicaciones, fincas privadas) cualquier tipo de fallo tiene repercusiones importantes en la calidad de servicio, ya que puede pasar varias horas hasta su sustitución o reparación, por ello y dependiendo del tipo de servicio, resulta necesario instalar equipos redundantes en configuraciones 1+1 o N+1 en general, de este modo se reduce considerablemente el tiempo de disponibilidad del radio enlace.

Para analizar si es viable o no su instalación, es necesario realizar el cálculo del enlace, el cual consiste en tomar la potencia de transmisión en términos de

ganancia absoluta, sumarle las ganancias, restarle las pérdidas y ver si el resultado alcanza sensibilizar al receptor. [6]

5.6 Asignación de banda de frecuencia.

La elección de la banda de frecuencia en la que se va a trabajar es una de las primeras en diseño de un radio enlace, y también unas de las más importantes y cuidadosamente estudiadas debido a su carácter escaso y limitado.

El espectro radioeléctrico se divide en bandas de frecuencias, las cuales se atribuyen a los diferentes servicios de telecomunicaciones. Tales atribuciones la efectúan la UIT en las conferencias administrativas mundiales de radiocomunicaciones y quedan recogidas en el cuadro de atribución de bandas de frecuencias del reglamento de radiocomunicaciones. La administración de telecomunicaciones de los diferentes países, efectúan las asignaciones de frecuencia y banda a las estaciones radioeléctricas para cada servicio de comunicación, en nuestro país el encargado de administrar este servicio es TELCOR (Ente Regulador de Telecomunicaciones de Nicaragua). [6]

5.7 Nomenclatura de las bandas de frecuencias

El espectro radioeléctrico de microondas se subdivide en tres bandas de frecuencias como se muestra en la tabla No. 3.

Tabla No.3 Nomenclatura de frecuencia

Banda	Denominación	Gama de frecuencia	Aplicación
UHF	Ultra High Frecuencias	300 MHz A 3 GHz	Telefonía celulary en comunicaciones militares.

			Usos industriales y médicos.
SHF	Super High Frecuencias	3 GHz a 30 GHz	Comunicaciones vía satélite y radioenlaces terrestres.
EHF	Extra High Frecuencias	30 GHz a 300 GHz	Comunicaciones diversas y radar de navegación.

Cabe destacar que las frecuencias entre 1GHz y 30 GHz, son llamadas microondas. Estas frecuencias abarcan parte del rango de UHF y todo el rango de SHF y EHF. Estas ondas se utilizan en numerosos sistemas, como múltiples dispositivos de transmisión de datos, radares y hornos microondas, transmisión de radio y televisión.

A continuación, se mostrarán las bandas de frecuencia para las microondas. (tabla 4)

Tabla N° 4, Bandas de Frecuencia

Banda	L	S	C	X	KU	KA
Inicio (GHz)	1	2	4	8	12	18
Final (GHz)	2	4	8	12	18	30

En la tabla 1.3 vemos como queda directamente relacionada la banda de frecuencia con la distancia que existe entre el punto emisor y receptor del radioenlace. Se ha de tener en cuenta que esta tabla es una aproximación, se toma como referencia, pero existen diferentes factores como podrían ser la capacidad solicitada que afecten a la decisión en la elección de la banda de frecuencia.

Tabla No. 5, relación Frecuencia - Distancia

Frecuencia	Distancia
80 GHz	0-3 KM
38 GHz	0-5 KM
23 GHz	5-12 KM
18 GHz	12- 18 KM
15 GHz	18-25 KM
13 GHz	25-35 KM

5.7.1 Perdida por difracción.

Las pérdidas por difracción se producen únicamente por la superficie del suelo o por obstáculos, en los cuales hay que tener en cuenta si son redondeados o agudos. Aun así, para evaluar los parámetros geométricos situados en el trayecto del radioenlace es imprescindible saber la refracción media de la atmósfera en el trayecto. Para ello, se traza el perfil del trayecto con el radio ficticio de la Tierra que convenga (Recomendación UIT-R P.834). A no ser que nos encontremos con otras especificaciones, se puede tomar un radio efectivo de la Tierra de 8 500 km. [7]

5.7.2 Perdida por desvanecimiento

Los desvanecimientos multiproyecto son pérdidas producidas por la interferencia entre el rayo directo y el rayo reflejado, ya bien sea por reflexión en la superficie terrestre o en las capas atmosférica. El desvanecimiento supone una pérdida de la potencia recibida de señal con relación a su valor nominal. A la hora de hablar de un desvanecimiento le dotamos de dos atributos, profundidad y duración, el primero se define como la diferencia máxima que llega a existir entre el nivel recibido de potencia y su valor nominal, y la duración es el tiempo que tarda en recuperar la señal su valor nominal de potencia.

5.7.3 Tipos de desvanecimientos:

- Desvanecimientos planos: Afectan a todas las componentes del espectro por igual.
- Desvanecimientos selectivos: Afectan de manera distinta dependiendo de la frecuencia y producen distorsión en el espectro de la señal modulada.

5.7.4 Balance de potencia:

En el balance de potencia estamos incluyendo todos los factores que influyen en el radioenlace para ver cuál es la potencia adecuada o necesaria a la que debemos transmitir la señal, para que cumpla con la calidad de señal deseada.

Estos cálculos se realizan con la ecuación No. 8, Ecu. Friis

$$PR(dBm) = PT(dBm) - LTT(dB) + GT(dB) - Lb(dB) + GR(dB) - LTR(dB)$$

Donde:

- PR: Potencia recibida.

- PT: Potencia transmitida.

- LTT: Pérdidas en los circuitos de acoplamiento del transmisor.

- LTR: Pérdidas en los circuitos de acoplamiento del receptor.

- GT: Ganancia de la antena de transmisión.

- GR: Ganancia de la antena de recepción. • Lb: Pérdidas básicas de propagación.

5.8 Interferencias

Una interferencia es una señal que capta el receptor sin ser la señal de interés, dificultando la recepción de esta, debido a que el valor de potencia de la señal interferente provoca una relación señal a ruido del sistema degradada, y como consecuencia, se degrada el margen de fading, que es la diferencia en dB entre el nivel de potencia recibida y el nivel mínimo de potencia que asegura una determinada tasa de error BER. Las interferencias se miden con la relación

portadora a interferencia (C/I) en dB, y sabiendo que las interferencias pueden provenir del mismo sistema o de otros, se clasifican 3 tipos de interferencias según:

- Generación de la señal:

- Intrasistema: Interferencias creadas por el propio sistema, normalmente por acoplamientos.
- Intersistema: Interferencias causadas por otros sistemas.
- Posición relativa de la señal interferente respecto de la deseada:
- Interferencia cocanal: Ocurre en la misma banda de frecuencias que la señal deseada.
- Interferencia en canal adyacente: Ocurre en una banda de frecuencias distinta.
- Circunstancias de propagación de las señales:
- Trayecto común con la señal deseada: Se desvanecen junto con la señal deseada.
- Trayecto independiente a la señal deseada: Se desvanece de manera diferente a esta.

La elección de las antenas en los sistemas de radiocomunicación tiene un gran efecto a la hora de disminuir los efectos de las interferencias, ya que cuanto mayor sea el diámetro de esta, más selectiva será ofreciendo una mejor respuesta ante interferencia. Se debe tener en cuenta que siempre se intenta ofrecer la potencia en destino precisa para ofrecer el margen de protección necesario, ya que si damos mucha más potencia de la necesaria esta podría actuar como señal interferente para otras señales. Además de la elección de las antenas, el estudio de las frecuencias que se utilizan resulta fundamental para mitigar el efecto de las interferencias. A la hora de diseñar un radioenlace es imprescindible asignar las bandas H o L (frecuencias altas de un canal o bajas, respectivamente) para un mismo emplazamiento.

5.9 Línea de vista (LOS)

Este refiere a un camino (path) limpio, sin obstrucciones, entre las antenas transmisoras y receptoras, para que exista la mejor propagación de la señal RF de alta frecuencia, es necesaria una línea de vista solida (limpia sin obstrucciones)

Cuando se instala un sistema inalámbrico, como lo es un radio de enlace, se debe tratar de transmitir a través de la menor cantidad posible de materiales, para obtener la mejor señal en el receptor.

5.9.1 Zona de Fresnel.

nos dice que la energía que transporta una onda electromagnética se propaga en línea recta. Esta simplificación es válida siempre que la longitud de onda sea mucho menor que los objetos circundantes, cosa que se cumple normalmente en las microondas.

Las microondas se propagan por la troposfera. La presencia de la superficie terrestre, el aire y los fenómenos meteorológicos, influyen en la propagación de las señales a través de fenómenos como: absorción, atenuación, difracción, interferencia, refracción y reflexión.

Es decir, las ondas de la antena emisora llegarán a la receptora por otros caminos además de la línea recta o línea vista. Por ejemplo, como vemos en la figura 1.6, podemos tener reflejos del suelo, pero también podríamos tener de otros objetos o de fenómenos meteorológicos. [2]

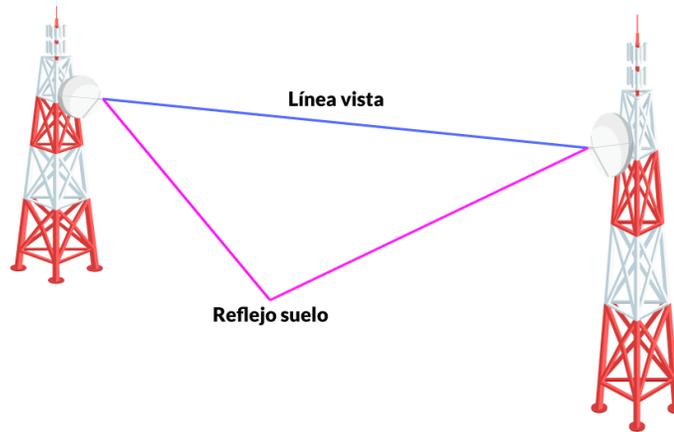


Figura No. 16, Referencia entre el suelo y línea de vista.

La zona de Fresnel consiste en determinar qué zona del espacio entre emisor y receptor debe estar libre para evitar en la medida de lo posible este fenómeno de cancelación por fase.

Podemos imaginar las zonas de Fresnel como varias elipses en 3D. Todas tienen la misma distancia entre antenas (d en la figura 17), pero cada una dispone de un radio al centro (r en la imagen) cada vez mayor:

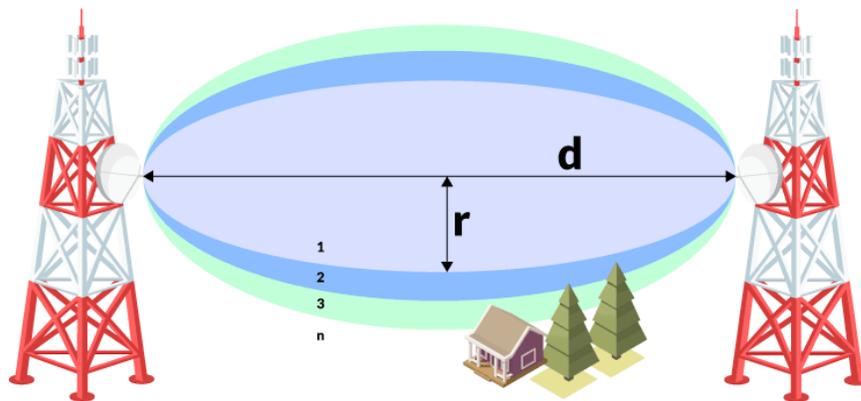


Figura No. 17, Afectación de zonas de Fresnel.

- La zona 1 es la que más afecta a la intensidad de la señal.
- La zona 2 afecta menos que la 1.
- La zona 3 afecta menos que la 2.

- Y así sucesivamente...

Existe un número infinito de zonas (n) pero habitualmente se realizan los cálculos hasta la 3ª zona, porque a partir de ella, el efecto de cancelación se hace despreciable. [3]

Las zonas de Fresnel se calculan según esta fórmula: Ecuación No. 9, Cálculos de zona de Fresnel.

$$F_N = \text{Ecuacion } 9 \sqrt{\frac{\lambda d^1 d_2}{d_1 + d}}$$

Donde:

- n: es el número de zona: 1, 2, 3...
- λ : es la longitud de onda de la señal emitida
- d1: es la distancia del punto donde calculamos el valor de la zona a la antena emisora
- d2: es la distancia del punto donde calculamos el valor de la zona a la antena receptora.

Las zonas de Fresnel son muy útiles a la hora de diseñar y construir radioenlaces, pues nos permiten calcular si los obstáculos entre antenas van a resultar un problema de pérdida de señal.

En general, el estándar en el diseño de radioenlaces para considerarlos aceptables es:

La 1ª zona de Fresnel debe estar despejada en un 60% a lo largo de toda su extensión

Esto quiere decir que, si entre nuestras antenas existe un obstáculo, como el árbol de la figura 1.8, la distancia del punto más alto hasta la línea vista debe ser superior al 60% del valor de la primera zona de Fresnel calculada en este punto:

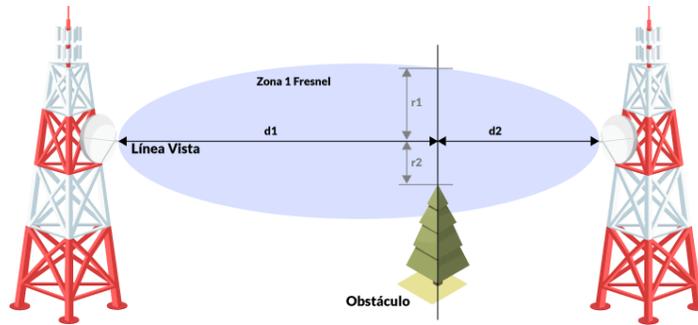


Figura No. 18, Representación de obstáculos.

Es decir: $r2 \geq r1 \cdot 0,6$

Siendo:

- $r1$: el radio o distancia resultante de calcular la primera zona de Fresnel a la distancia del obstáculo.
- $r2$: el radio o distancia desde el punto más elevado del obstáculo hasta la línea vista entre las 2 antenas.

5.9.2 La curvatura de la tierra.

Cuando hablamos de obstáculos pensamos en objetos, pero hay otra cosa más grande que también puede producir problemas: la tierra.

Si la distancia entre antenas es muy grande, la curvatura terrestre puede interferir en la señal de varias maneras:

Aumentando la altura de los obstáculos intermedios.

Curvando el haz electromagnético como consecuencia de la refracción troposférica. [8]

Convirtiéndose ella misma en un obstáculo. Como lo muestra la Figura No. 19

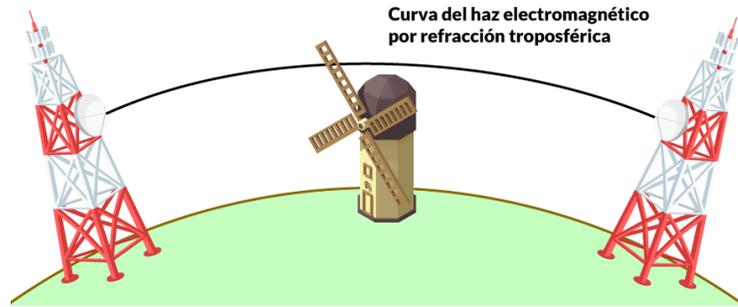


Figura No. 19, Efecto de la curvatura de la tierra.

La hora de calcular la altura de los obstáculos y ver si sobrepasan el 60% de la 1era zona de Fresnel, tendremos que aplicar un factor corrector, también conocido como flecha:

$$F = d_1 d_2 / 2Ka, \text{ Ecuación 10, Calculo de la 1era Zona de Fresnel}$$

Donde:

- d_1 : es la distancia del punto donde calculamos el valor de la zona a la antena emisora
- d_2 : es la distancia del punto donde calculamos el valor de la zona a la antena receptora
- k : es la constante de la tierra ficticia, habitualmente $4/3$
- a : es el radio de la tierra (6370 km) [7]

La consideración más importante es conocer la altura de la superficie terrestre, desde el punto inicial en el que se encuentra el emplazamiento de la universidad nacional de ingeniería (Km 0) ubicada en Managua, hasta el punto final donde se va a situar la torre ubicada en la finca experimental agrícola (Km 28.18), y con esto poder visualizarlas alturas del terreno y la línea de vista, donde se observarán todos los posibles obstáculos que pueden perjudicar la transmisión. (Ver figura 20).



Figura No. 20, Vista panorámica de UNI y la finca experimental agrícola.

En el análisis del perfil del terreno también se ubicó el punto exacto donde se instalarán las torres, con la primera torre ubicada en la universidad nacional de ingeniería y con una elevación de 102 m, haciendo un recorrido de 28.6 Km hasta llegar a la finca experimental agrícola donde claramente se encuentran obstáculos como árboles y elevaciones montañosas. En la siguiente figura se podrá apreciar el emplazamiento de la finca experimental agrícola. (Ver figura 19).



Figura No. 21, Emplazamiento de torre en la Finca experimental

En el resto del trayecto se encuentra el punto ideal donde se ubica la segunda torre a 28.6 Km de distancia de la torre de la finca experimental, con una elevación de 101 m sobre el nivel del mar. Donde se decidió ubicar en este punto la torre de la UNI-RUPAP debido a que es la Universidad en donde se ubicara la torre, ya que es un sistema de comunicación vía microonda privado. Se aprecia esta ubicación en la siguiente figura. (Ver figura 20).



Figura No. 22, Emplazamiento de torre en el RUPAP

5.10 Propuesta de diseño detallado del enlace de radio.

Para dar inicio al estudio del radioenlace es necesario definir parámetros importantes que ayudan a entender de una mejor manera la realización del mismo.

5.10.1 Cálculos para el diseño de un radio enlace

Como parte del estudio del radioenlace entre la Universidad Nacional de Ingeniería UNI y Finca Experimental agrícola se cuantifican las pérdidas que sufre la señal (desde el radio transmisor a través de cables, conectores y espacio libre hacia el receptor) y de esta manera verificar la eficiencia que tiene el diseño con la finalidad de poder evaluar si es posible o no su implementación.

5.10.2 Atenuación total debido a la lluvia.

La atenuación total debido a la lluvia se calcula y se expresa, tomando en cuenta la frecuencia, en nuestro caso tomamos la de 7GHz y la atenuación que presenta debido a la lluvia es prácticamente se saca, Realizando un cálculo en el enlace entre el la Universidad Nacional de Ingeniería UNI y Finca Experimental agrícola.

5.10.3 Atentación por espacio libre

Este es un cálculo realizado para conocer las pérdidas que va a tener la señal durante su trayecto de propagación sin obstáculos entre el transmisor y el receptor. En este análisis se omiten las pérdidas ocasionadas por lluvia, debido a que el enlace de microondas opera a una frecuencia de 7 GHz, donde estas son despreciables. Este cálculo es para determinar la pérdida que tiene la señal durante todo su camino, sin obstrucción alguna como pueden ser árboles, casas y elevaciones rocosas. La ecuación es la siguiente.

$L_{\text{espacio libre}} = 20 \log_{10}(d) + 20 \log_{10}(f) + K$ Ecuación No.11, cálculos de pérdida de señal.

En donde:

- L espacio libre: Es la pérdida de espacio libre en dB.
- d: Es la distancia entre las antenas en metros.
- F: Es la frecuencia de operación del enlace de microondas en (Hertz)Hz
- K: Es una constante que depende del sistema de unidades utilizadas y de cómo se defina la ganancia de las antenas.

La fórmula de pérdida de espacio libre muestra cómo la señal de microondas se debilita a medida que viaja a través del espacio sin obstáculos debido a la dispersión de energía en todas las direcciones. Esta pérdida es proporcional al cuadrado de la distancia entre las antenas y aumenta con la frecuencia de operación del enlace.

5.10.4 Pérdida del equipo de transmisión/recepción.

Las pérdidas que introducen los equipos en el sistema de transmisión/recepción a diseñar son las llamadas pérdidas misceláneas (Son las pérdidas causadas por

acoplamiento de la ODU y la antena) y otras pérdidas adicionales que se totalizan por la siguiente ecuación.

Esto puede variar según el diseño y la calidad del equipo utilizado. Sin embargo, una ecuación general para la pérdida de este componente se puede expresar como:

$$L_{Tx/Rx} = G_{Tx} + G_{Rx} \quad \text{Ecuación No. 12, ecuación general para la pérdida}$$

Donde:

$L_{Tx/Rx}$: Es la pérdida total del equipo Tx/Rx en dB.

G_{Tx} : Es la ganancia (o pérdida) del equipo transmisor en dB.

G_{Rx} : Es la ganancia (o pérdida) del equipo receptor en dB.

En esta ecuación, la ganancia (o pérdida) se refiere a la capacidad del equipo para aumentar (o disminuir) la potencia de la señal. Por lo tanto, si el equipo Tx/Rx tiene una ganancia positiva, aumentará la potencia de la señal, mientras que, si tiene una ganancia negativa, la disminuirá.

Es importante tener en cuenta que esta ecuación puede simplificar el proceso de cálculo, pero en la práctica, la ganancia o pérdida del equipo Tx/Rx se determina teniendo en cuenta varios factores, como la ganancia de la antena, la potencia de transmisión, las características de sensibilidad del receptor, entre otros.

5.10.5 Pérdida en guía de onda

De acuerdo a la ficha técnica de la guía de onda seleccionada de acuerdo a su rango de frecuencia, esta presenta una pérdida de 5.91 por cada 100m. La longitud de guía de onda del enlace es de 0.5 m.

Esto refiere a la disminución de la potencia de la señal que ocurre cuando la señal viaja a través de la guía de onda utilizada en el enlace de microondas. La guía de

onda es un conducto metálico diseñado para guiar las ondas electromagnéticas, como las ondas de microondas, desde una fuente a un destino

Para minimizar la pérdida por guía de onda en un enlace de microondas, es importante utilizar guías de onda de alta calidad y diseñadas específicamente para las frecuencias y potencias de las señales utilizadas en el enlace. Además, se deben evitar las irregularidades en la guía de onda y se deben utilizar técnicas adecuadas de empalme y conexión para minimizar las reflexiones y pérdidas de retorno.

Para saber el margen de pérdida se utiliza la siguiente ecuación No. 13, Pérdida por guía de onda (dB) = $10 \cdot \log_{10} (P_{\text{salida}} / P_{\text{entrada}})$

Donde:

P_{entrada} : es la potencia de entrada a la guía de onda (en watts o miliwatts)

P_{salida} : es la potencia de salida de la guía de onda (en watts o miliwatts).

Esta ecuación calcula la pérdida en decibelios (dB) entre la potencia de entrada y la potencia de salida de la guía de onda. Una pérdida de señal mayor resultará en un valor más alto en decibelios.

5.11 Cálculos de la zona de Fresnel para el enlace

Este cálculo se realiza para ver si hay un alto grado de obstrucción en el trayecto y no deteriorar la calidad de transmisión. Según a como se definió la la primera zona de Fresnel en el primer capítulo, se señaló que el primer lóbulo de radiación, debe tener al menos un 60% de su área despejada para establecer una buena comunicación inalámbrica, mientras tanto un 40% es el rango óptimo que debe estar un obstáculo dentro de la primera zona de Fresnel.

Como recomendación profesional, para este tipo de enlace, sería viable utilizar equipos Huawei, ya que son equipos que, por lo general, son bien robustos y

eficiente al momento de transportar la señal de un punto A hacia un punto B, estos equipos, pueden usar 2 tipos de polarización, dando así un margen de ganancia en el ancho de banda.

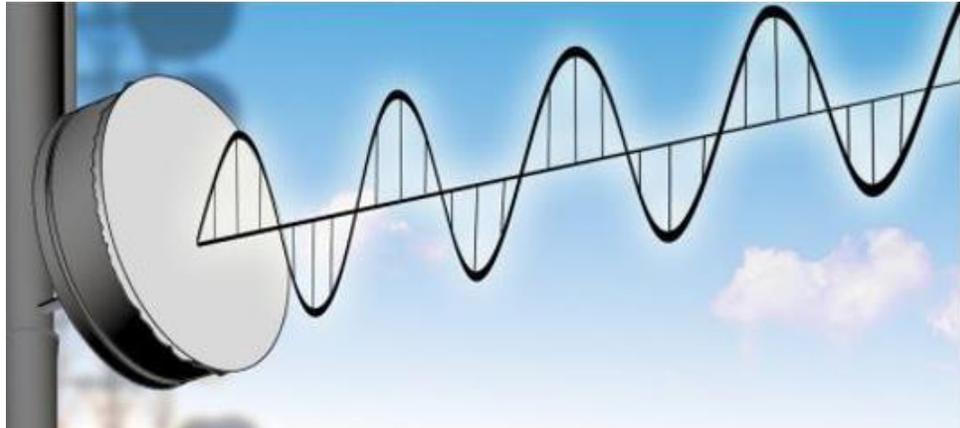


Figura No. 23, Polarización POL V

De esta manera se aprecia un enlace sencillo, de una sola polarización, utilizando un único radio canal, en su mayoría son polarización POL V

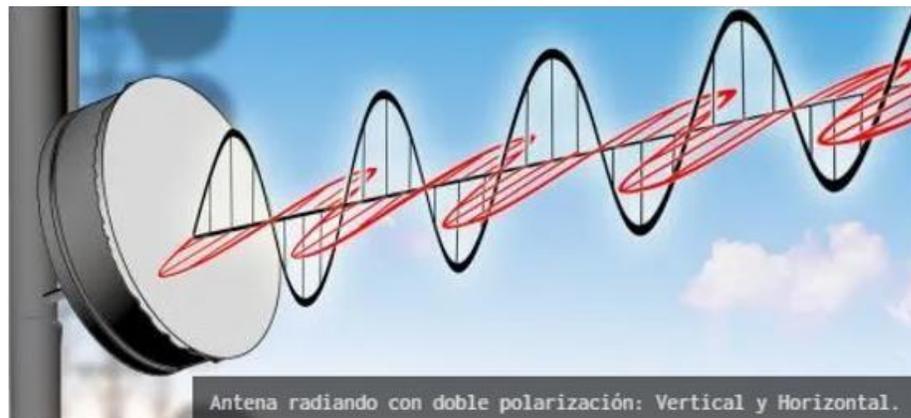


Figura 24, Polarización POL V, H

Y los enlaces con doble polarización Permiten aumentar la capacidad y tener mayores anchos de banda (throughput).

Estas técnicas es una clave en las comunicaciones modernas para aumentar la eficiencia y capacidad del sistema de transmisión aprovechando diferentes polarizaciones para transmitir múltiples señales simultáneamente en el mismo canal de frecuencia.

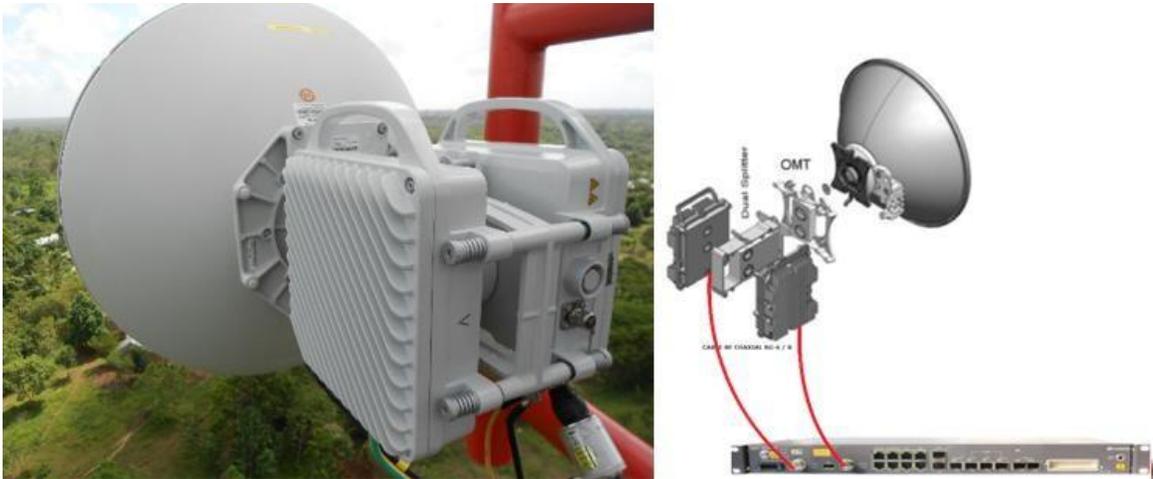


Figura No. 25, OMT

5.12 El Transductor Ortomodal (OMT)

También llamado duplexor de polarización, este elemento es necesario cuando se utiliza polarización doble y sirve tanto para combinar, como para separar dos caminos de señales de microondas polarizadas ortogonalmente.

Hay que tener en cuenta que el OMT va a introducir pérdidas de ganancia de unos entre 3 - 6dB.

TIPOS DE ACOPLADORES DE ANTENA



Figura No. 26, Tipos de Acopladores de Antena.

Esto es un acoplador de antena, este dispositivo se utilizaría para hacer coincidir la impedancia de una antena, con la impedancia de la línea de transmisión o el transmisor/ receptor para maximizar la transferencia de energía y minimizar las pérdidas. Hay que tener en cuenta que hay varios tipos de acopladores de antena, cada uno con características y aplicaciones específicas.

5.13 Propósito de ajustes de Niveles XPD en un enlace de microondas.

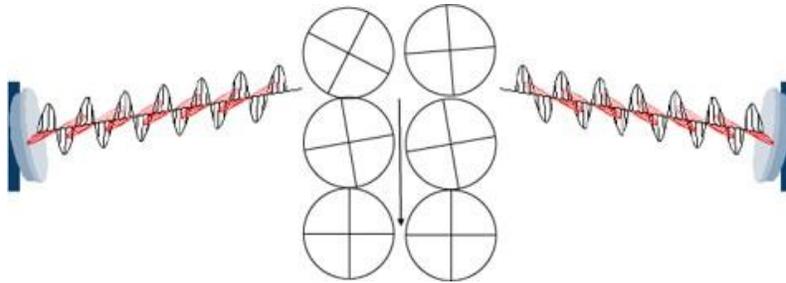


Figura No, 27, Ajustes de niveles XPD.

Mediante el proceso de instalación del enlace, solamente la calibración de la antena o ajustes del XPD pueden garantizar que el enlace alcance el máximo valor RSL.

Es posible que los ejes de polarización de la antena no coincidan entre sí, lo que provocará que el valor XPD sea demasiado bajo. Los ajustes del XPD en el enlace permitirá que el eje de polarización en la antena coincida entre sí en ambos sitios, permitiendo de esta manera que el enlace funcione de manera más adecuada.

Alineación del foco se aplica directamente al modulo o al OMT



Figura No. 28 Configuración de Alineación de módulo OMT

Al momento de alinear, se hace directamente desde el OMT, y se orientan usando un nivel, el nivel debe de quedar centrado, y el ingeniero tiene que validar el rango de señalización estandarizado que por lo general es de 24 y 29 dBm.

Uno de los problemas más frecuentes en el proceso de Calibración para alcanzar un buen nivel de XPD son los siguientes.

El soporte del radio no está instalado verticalmente. Como resultado, la puesta en servicio del XPD excede la limitación de ajuste de rotación del alimentador/OMT de la antena.

La alineación de la antena no está correcta. El RSL no alcanza el valor de planificación según la ingeniería y no se encuentra en el área óptima para garantizar el rendimiento del XPD.

Solo se calcula una XPD de polarización de V o H, y la XPD de la otra polarización es muy pobre.

El XPD no cumple con el valor probando TODAS las variantes debido a que la antena está dañada en su estructura o daños a lo interno del foco.

El puerto de guía de ondas de la ODU no está limpio y la calidad de la señal es deficiente.

La línea de vista (LOS) cercana está bloqueada u obstruida, lo que afecta la propagación normal de los enlaces, incluidos edificios, postes metálicos y otras antenas.

Existen otras señales que interfieren en el enlace.

5.13.1 Alineación de enlaces

Una de las etapas más importantes de la instalación de un enlace de radio punto a punto es la alineación adecuada del sistema de antena.

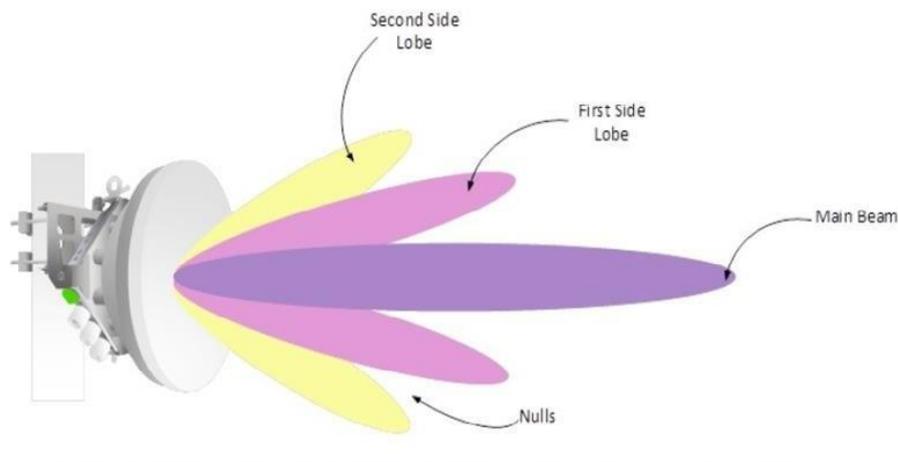


Figura No. 29, Tipos de Alineación

Cualquier desalineación puede causar un funcionamiento inestable y disminuirá el **margen de desvanecimiento** que afectará la confiabilidad general del enlace.

Conocer los ángulos de azimuth y elevación para una correcta alineación, es la clave que un enlace pegue con niveles óptimos.

Tener un equipo torreros en cada extremo en comunicación mutua, permitirá que el proceso de alineación sea más fácil y rápido. (se alinea un solo lado a la vez).

Hacer un barrido en vertical haciendo un desplazamiento en horizontal, siempre guiándose de los niveles de elevación y azimuth previamente calculados en ingeniería.

En el siguiente prt sc (imagen A) se muestra la elevación más alta entre ambos puntos a conectar, siendo de 195 metros. Con una distancia aproximadamente de 28,23 km de enlace entre RUPAP y FINCA EXPERIMENTAL. Esta distancia puede ser una variante, así como la geo-posicionamiento del enlace, ya que dependerá de la posición exacta de las torres de comunicaciones en ambos puntos.

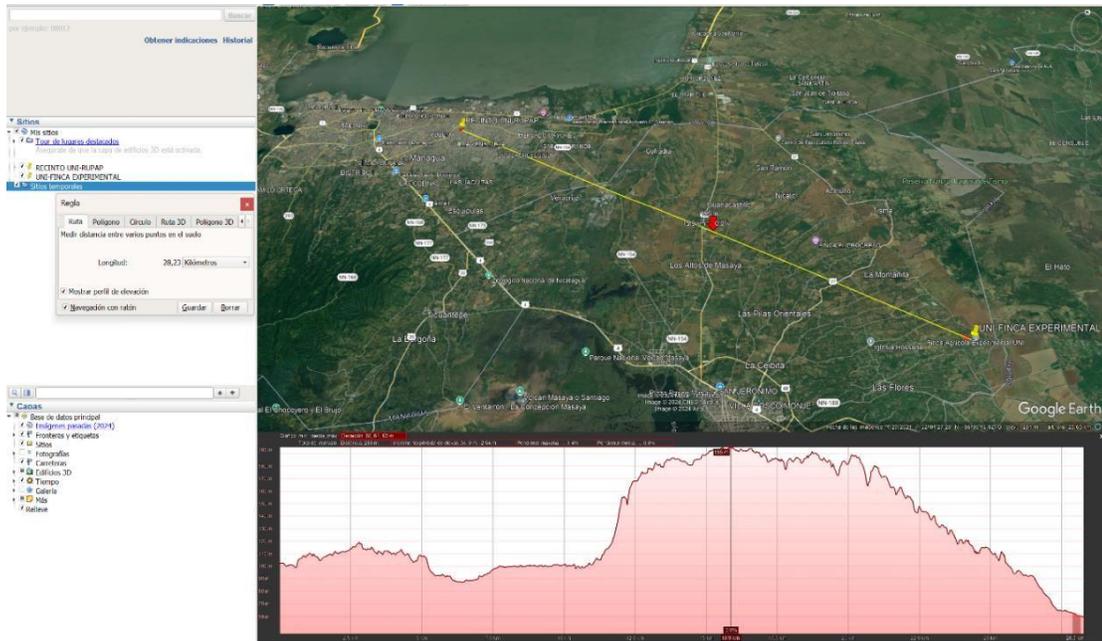


Figura No. 30, Avistamiento del relieve.

Si analizamos esta 1er imagen, podríamos ver que no se tiene línea de vista, pero desde el aspecto ingenieril, en entornos como estos, se podría agregar al RE un "punto C" como ampliación de cobertura o punto repetidor; sin embargo, se tendría que llevar a cabo el estudio de punto A, B y C para ver si realmente es óptimo el RE. En cuanto a la distancia no se tiene problemas.

5.14 Características de los equipos a seleccionar

Si el proyecto se lleva a cabo con equipo RADWIN, estos soportan una distancia de 20 a 30 km, varía según la serie del equipo. Para este caso, si se ocupan equipos RADWIN sería de la serie D+ ya que estos ofrecen un bandwidth de 250 mbps (sin licencia) y con licencia (hasta 700 mbps). Este RE sería recomendable

dejarlo a 17 dbm de Tx power. Ya que en los equipos RADWIN permite en rango de 8-17 dbm en la serie 2000D+, con una banda de 3.6 GHz.

5.14.1 ODU Huawei rtn xmc-1 y xmc-2

En lo que respecta a las ODU HUAWEI RTN XMC-1 y XMC-2. Estos equipos pueden implementarse en un RE máximo a 50 km. En este caso, es posible tomar en cuanto el radio Huawei RTN. En estos equipos la configuración máxima es de 8 + 0 y la capacidad máxima de un solo canal de Tx es de 1 Gbit/s. se podría implementar un radio RTN 950/950A/980.

Tabla No. 6, Especificaciones de ODU Huawei:

Modulation format	QPSK and 16QAM
Channel spacing	3.5 MHz, 7 MHz, 14 MHz and 28MHz

Tomando en cuenta las siguientes especificaciones de los transceivers de la ODU.

Tabla No. 7, Especificaciones de los Transciver de la ODO

Ítem		Especificacion	
		QPS5	16QAM
Rated máximo TX power	7 GHZ	26.5 dBm	21 dBm
	8 GHZ	26.5 dBm	21 dBm
	11 GHZ	25.0 dBm	19.0 dBm
	15 GHZ	23.5 dBm	17.5 dBm
	18 GHZ	23 dBm	17 dBm
	23 GHZ	23 dBm	17 dBm
Rated Mínimum power	7 GHZ	6.5 dBm	
	8 GHZ	6.5 dBm	

Tabla No. 8, Especificaciones de los transceivers de la ODU.

Modulation format	QPSK,16QAM,32QAM,64QAM,128QAMand 256QAM
Channel spacing	7MHz, 14MHz, 28MHz, 40MHz and 56MHz

Tomando en cuenta las siguientes especificaciones de los transceivers de la ODU.

Tabla No. 9, Especificaciones del transiver de la ODO, según la modulación.

ITEM	Specification			
	QPSK	16QAM/32QAM	64QAM/128QAM	256QAM
Rated Máximum TX power Note: When the working frequency is 7GHZ or 8GHz the channel spacing is 40 MHz or 56 MHz the value of this counter in cach modulation format reduces by 3 dBm	26.5 dBm	25.5 dBm	25.5 dBm	23 dBm
	26.5 dBm	25.5 dBm	25.5 dBm	23 dBm
	26 dBm	24 dBm	22 dBm	20 dBm
	25 dBm	22 dBm	20.5 dBm	18.5 dBm
	24 dBm	21 dBm	19.5 dBm	16.5 dBm
	24 dBm	21 dBm	19.5 dBm	17.5 dBm
	20 dBm	17 dBm	16 dBm	14 dBm
Rated minium TX power	7 GHz	6.5 dBm		
	8 GHz	6.5 dBm		
	11 GHz	0 dBm		
	15 GHz	5 dBm		



Figura No. 31, Punto más bajo del RE.

Se puede observar en la figura No. 31, donde se aprecia el punto más bajo del RE (59 m), esto se debe tomar en cuenta, ya que es la geo-posición en donde posiblemente quede ubicada la torre de comunicaciones y sus equipos de Tx. Este sería la Rx/Tx del punto A (UNI-RUPAP).

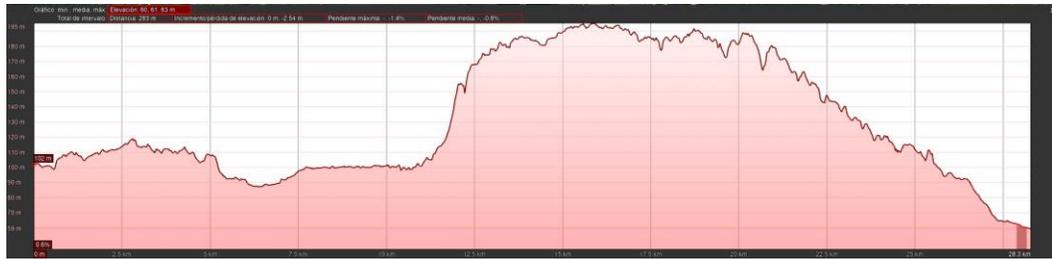


Figura No. 32, Geo-posición del punto A.

Elevación y geo-posición del punto A (102 m) podría tener variaciones, ya que dependerá de donde quede la torre de comunicaciones en el recinto universitario. Este sería Tx/Rx del punto B (finca experimental).

Es recomendable en toda implementación de RE que la torre de comunicaciones sea adaptada a los tipos de equipos a instalar, elevaciones del RE, ambiente de la ubicación de los puntos a interconectar y seguridad del perímetro de la torre. En este caso presentado se propone torres auto soportadas, a una altura entre 30 y 100 pies, con un cono de protección en cada una de ellas. si se procede con la implementación del RE estas serían las estructuras de los sitios y estructura para cimientos (esta última en caso de ser necesario).

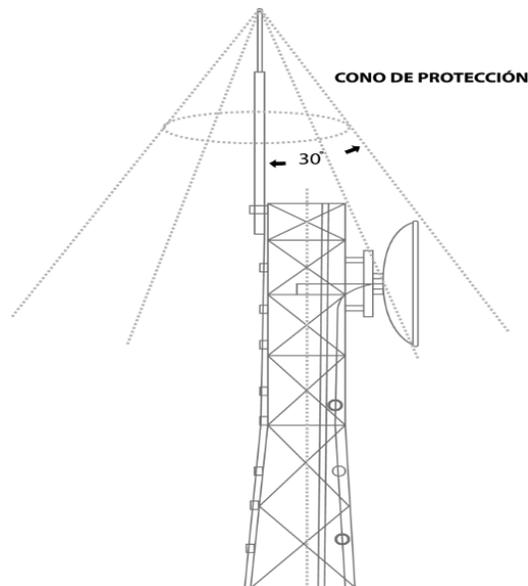


Figura No. 33, Estructura de una antena Auto soportada.

Estas características de este tipo de torre nos pueden asegurar una buena estructura y protección para los equipos de radio. Cabe recalcar que tanto en el punto A y punto C son terrenos que nos permitirían el montaje de este tipo de torre. En el recinto universitario se tiene perímetro y lugar adecuado para la construcción de este tipo de torre y en la finca se tiene amplio terreno para la posición de la misma. Recordemos que para ser posible este RE sería necesario implementar un punto C como "punto repetidor" y en el tipo de terreno y elevación que se presentan en los resultados de Google Earth este tipo de torre sería adecuado para colocar los equipos del punto repetidor.

A continuación, detallo por cuadro cada parámetro a utilizar en la implantación de este radio enlace. Cada dato presentado en cada tabla esta ajustado a las necesidades del proyecto. Es importante recordar que este sería un escenario de alto alcance, tanto a niveles técnicos, como económicos, no solamente por la distancia entre puntos de conexión, sino también, por los componentes de este. Este perfil esta propuesto con alcances apegados a la realidad; sin embargo, como todo perfil lógico, al momento de la implantación del proyecto, este podría tener variaciones. Este perfil no se vio registrado con un (punto C o punto repetidor), se presenta únicamente tipo Pa en banda de 3.5 GHz, lo recomendable para este tipo de RE.

En la siguiente tabla (No. 8), se puede apreciar lo que es el sumarry, o el resumen detallado entre ambos puntos, se menciona su nombre, tipo de perfil, tipo de equipamiento, zona de Fresnel, distancia, perdida en espacio libre, excesiva de perdida, nivel de tráfico, banda de frecuencia, banda de canal en RF.

Tabla No. 10, Summary del radio enlace según software de Radwin .

Summary	
Link Name	Finca Experimental-UNI to UNI-RUPAP
Profile Type	No Profile
Equipment Type	PTP450i
Fresnel Zone Clearance	33.5 Meters
Link Distance	28.183kilometers
Free Space Path Loss	132.20 dB

Excess Path Loss	0.00dB
User IP Throughput Expectation Aggregate	Aggregate 195.41 Mbps assuming PTP-450i Series running the 23 software
RF Frequency Band	3.5 GHz (3300 to 3600 MHz)
RF Channer Bandwidth	40 MHz

Seguidamente se presenta el perfil en zona de Fresnel entre ambos puntos, y su rango de distancia medido en km.

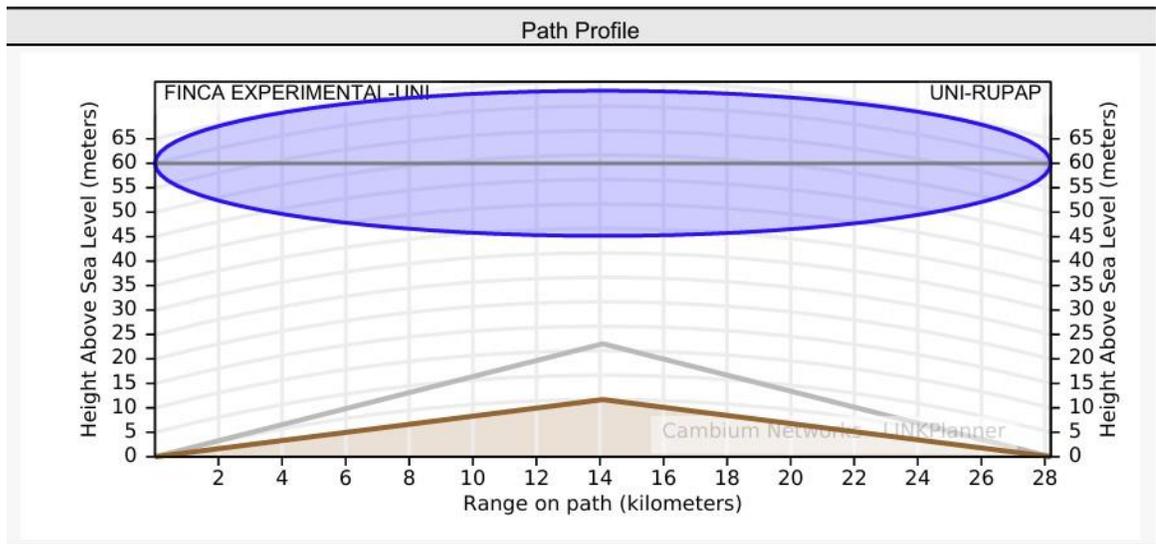


Figura No. 34, Zona de Fresnel del punto A al Punto B

En la tabla No. 11, se puede ver lo que vendría siendo la configuración de las ODUs, en donde se toman en cuenta parámetros como el tipo de banda, el dato de descarga, tipo de antenas etc.

Tabla No. 11, Link de configuración de la simulación en Radwin.

Link Configuration	
Bandwidth	40MHz
Color Code	0
Frame Period	2.5 ms
Dowlink Date	50%
MIMO Rate Adapt	MIMO-A/B
Maximun Mod Mode	X8

Minimum Mod Mode	X1
Master	UNI-RUPAP
Slave	FINCA EXPERIMENTAL-UNI

En la Tabla No. 12, se presentan los materiales que se utilizarían, según su descripción como partes de la ODU, tipo de cable, banda y frecuencia en la que se trabajara, tipo de Tilt, certificación de seguridad ETC.

Tabla No. 12, Detalle de materiales

Bill of Materials		
Part Number	Qty	Description
(no part number)	1	MARS 14 in Dual-Polar Flat Panel MA-WA36-DP21
(no part number)	1	MARS 2ft Dual-Polar Flat Panel MA-WA36-DP25
(no part number)	2	Unspecified Power Lead. (set the region in the Bill of Material options)
01010419001	12	Coaxial Cable Grounding Kits for 1/4" and 3/8" Cable
30009406002	4	N-to-N CABLE (16")
C000065L007	2	LPU and Grounding Kit (1 Kit per ODU)
C030045B001	2	3 GHz PTP 450i END, Connectorized
EW-E2PT450I-WW	2	PTP 450i Extended Warranty, 2 additional years (per END)
N000000L034	2	PoE, 30.5W, 56V, 5GbE DC Injector, Indoor, Energy Level 6 Supply, Accepts CS connector
N000045L002	2	Tilt Bracket Assembly
WB3176	2	328 ft (100m) Reel Outdoor Copper Clad CAT5E (Recommended for PTP)

En la Tabla No. 13, se presentan las notas de instalación del radio enlace, aquí se especifican los parámetros tales como su, nombre de punto a punto, su latitud, su longitud, el tipo de equipamiento, tipo de antena, ganancia de antena, nivel de pérdida, entre otros.

Tabla No. 13, Notas de instalación del radio enlace.

Physical Installations Notes for FINCA EXPERIMENTAL-UNI	
Link Name	FINCA EXPERIMENTAL -UNI TO UNI-RUPAP
Latitude	12.01208N
Longitud	085.99844W
Equipment Type	PTP450i
Platform Variant	Connectorized
Antenna Type	MARS 2ft Dual-Polar Flat Panel MA-Wa36-DP25
Antena Beamwidth	8.0°
Antenna Gain	24.6dBi
Antenna Height	60.0 meters AGL
Bearing to UNI-RUPAP	299.40° from True North 301.31° from Magnetic North
Magnetic Declination	1.90° W ± 0.31° changing by 0.13° W per year
Cable Loss	1.0dB
Power from Switch	No

Tabla No.14, Physical Installation Notes for UNI-RUPAP.

Physical Installation Notes for UNI-RUPAP	
Link Name	FINCA EXPERIMENTAL-UNI to UNI-RUPAP
Latitude	12.13706N°
Longitudud	086.22401W
Equipment Type	PTP450i
Platform Variant	Connectorized
Antenna Type	MARS 14in Dual-Polar Flat Panel MA-WA36-DP21
Antenna Beamwidth	12.0°
Antenna Gain	22.0 dBi
Antenna Height	60.0 meters AGL
Bearing to FINCA EXPERIMENTAL-UNI	119.35° from True North 121.15° from Magnetic North
Magnetic Declination	1.79° W±0.31° changing by 0.13°W per year
Cable Loss	1.0 dB
Power from Switch	No

Tabla No. 15, Radio Commissioning Notes for UNI-RUPAP.

Radio Commissioning Notes for UNI-RUPAP (continued)	
Country	Other
Latitude	12.13706N
Longitude	0.8622401W
Height	60.0m (197ft)
Frequency Band	3.5GHz (3300 to 3600 MHz)
Channel Bandwidth	40 MHz
Cyclic Prefix	1/16
Frame Period	2.5 ms
Color Code	0
MIMO Rate Adapt Algorithm	MIMO-A/B
DL Maximum Mod Mode	X8
UL Maximum Mod Mode	X8
Minumum Mod Mode	X1
Downlink Data	50
Transmit Power	25.0 dBm
External Gain	21.0 dBi
Predicted Receive Power	-63 dBm ± 5dB

Predicted Link Loss	132.42 dB ± 5.00 dB
---------------------	---------------------

5.15 Instrucciones de Instalación

Se realizaron las siguientes comprobaciones durante la instalación:

1. Verificación con un GPS que está instalando en la ubicación correcta.
2. Comprobación de la dirección hacia el otro extremo del enlace, esta fue verificada también haciendo uso de una brújula corregida.

Función de punto de referencia a unos 300 metros de la ubicación de instalación.

3. Se realizó la alineación de las antenas, es importante encontrar el centro del haz principal. Esto se hace ajustando la antena en cada extremo del enlace a su vez y monitoreando el nivel de recepción hasta que se encuentre el pico. Una vez que el nivel máximo, debe comprobarse con la potencia de recepción predicha para asegurándose de que las antenas no se han alineado en un lóbulo lateral.

4. Una hora después de completar la alineación, verifique que el valor medio de la potencia de recepción sea el predicho.

Tabla No. 16, Datos de la finca Experimental-UNI Performance

Finca Experimental-UNI Performance *	
Mean IP Throughput Predicted	97.70 Mbps
Mean IP Throughput Required	5.00 Mbps
Minimum IP Throughput Required	1.00 Mbps
Minimum IP Throughput Availability Predicted	99.9960% (unavailable for 21.1 mins/year)
Interference Expected	-97.98 dBm/ 40MHz

Tabla No. 17, Datos del Performance UNI-RUPAP.

UNI-RUPAP Performance	
Mean IP Throughput Preditec	97.71 Mbps
Mean IP Throughput Required	5.00 Mbps
Manimun IP Throughput Required	1.00 Mbps
Minimun IP Throughput Availability Predicted	99.9960% (unavailable for 21.1 mins/year)

Interference Expected	+97.98 dBm/ 40 MHz
-----------------------	--------------------

Tablas No. 18, Disponibilidad Multiproyecto UIT-R P.530-17

Mode	Max aggregate User IP Throughput (Mbps)	Max aggregate In Either Direction (Mbps)	FINCA EXPERIMENTAL			UNI-RUPAP		
			Fade Margin (dB)	IP Throughput Availability (%)*	Receive Time in Mode (%)	Fade Margin (dB)	IP Throughput Availability (%)*	Receive Time in Mode (%)
X8 (256QAM MIMO-B)	258.87	129.43	-6.61	0.0377	0.0377	-7.01	0.0289	0.0289
X7 (128QAM MIMO-B)	226.51	113.25	-1.61	6.6528	6.6150	-1.61	6.6528	6.6239
X6 (64QAM MIMO-B)	194.15	97.08	3.39	97.6815	91.0287	3.39	97.6815	91.0287
X5 (32QAM MIMO-B)	161.79	80.90	6.39	99.6607	1.9792	6.39	99.6607	1.9792
X4 (16QAM MIMO-B)	129.43	64.72	9.79	99.9218	0.2611	9.89	99.9246	0.2639
X3(8QAM MIMO-B)	97.08	48.54	11.39	99.9548	0.0330	11.79	99.9602	0.0356
X2(QPSK MIMO-B)	64.72	32.36	15.39	99.9857	0.0309	15.99	99.9877	0.0275
X4 (256 QAM MIMO-A)	129.43	64.72	-3.61	0.0000	0.0000	-4.01	0.0000	0.0000
X3 (64 QAM MIMO-A)	97.08	45.54	6.39	0.0005	0.0005	6.39	0.0005	0.0005
X2 (16 QAM MIMO-A)	64.72	32.36	12.79	0.0005	0.0000	12.89	0.0005	0.000
X1 (QPSK MIMO-A)	32.36	16.18	20.39	99.9960	0.0098	20.39	99.9960	0.0078

En la siguiente figura se presenta el performance en ambos puntos de conexión y los factores de clima, perdida y sus estándares, así como lista de materiales.

Performance Charts

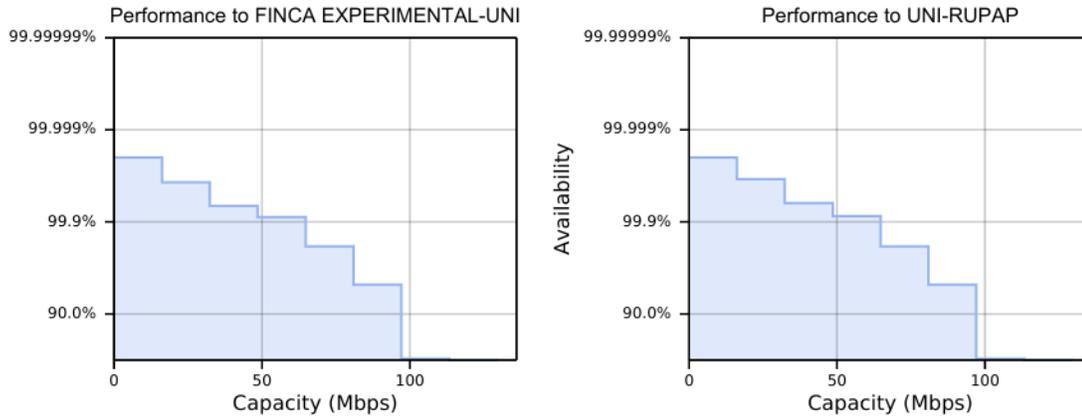


Figura No. 35, Performance de los puntos de conexión y factores de clima.

Teniendo en cuenta que un enlace Punto a punto no es posible en este escenario, se propone un punto Repetidor (punto C) exactamente al Sitio que le pertenece directamente a un operador de telecomunicaciones, el raizon, con una altura de 45 mts.

En donde la línea roja sobre el mapa indica el trazado entre ambos puntos, mientras que el grafico inferior muestra la elevación a lo largo de la distancia (18.8 km), la elevación minina es de 59m y pareciera que no hay obstáculos significativos inicial y final que bloqueen la línea de vista, ya que la línea del grafico no se eleva por encima de la conexión entre los puntos. En la siguiente figura, parece haber línea de vista.

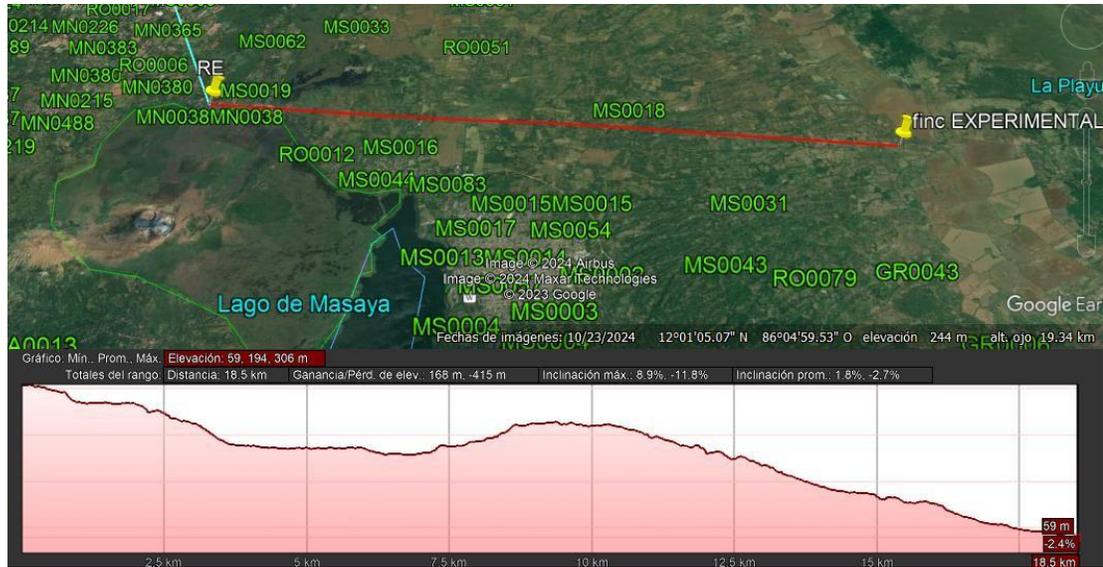


Figura No. 36, Conexión del punto C al punto B.

Teniendo como referencia, el primer resultado que obtuvimos, con Google heart teniendo ambos puntos visibles sin interferencia significativa, también se procede a trazar la misma ruta utilizando el software Radwin, lo cual es un simulador, utilizado para simular radios enlaces que se pueden pegar a la realidad, según sus resultados o predicciones.

Tabla No. 19, Datos del simulador LTC RADWIN PUNTA A Y B

Parameter	Site A (Hub)	Site B (Client)
Site Name	Raizon	Finca Experimental
Radio Name	PTP RAIZON_1	PTP Finca Experimental_0
Antenna Azimuth (°)	94.0	274.0
Antenna Tilt (°)	-0.8	0.8
Site Height (m)	60	60
Antenna Height (m)	25	25
Line of Sight	NLOS	
Status	No (LOS)	
Distance (km)	18.516	

Como lo muestra la imagen (36) procedemos a poner los parámetros necesarios para su debida simulación. Entonces se toman en cuenta los nombres de cada punto el tiempo de azimuth en la antena, si Tilt, su altura (torre), el nivel de perdida en línea de vista, Su status y la distancia a tomar entre ambos puntos.

Tabla No. 20, Configuración de performance.

Parameter	Site A (Hub)	Site B (Client)
Radio Name	PTP RAIZIN_1	PTP Finca Experimental_0
Model	AL-PRO	AL-PRO
Product name	RW2000/ODU/Alpha-PRO/F/WW/EXT/500M	RW2000/ODU/Alpha-PRO/F50/WW/EXT/500M
Antenna	RW-9061-5001	RW-9061-5001
Channel Bandwidth (MHz)	80	
Frequency (MHz)	4940	
Req. Availability (%)	99.9	
RSS (dBm)		
Modulation		
Tx Power (dBm)	26	26
Tx Power System (dBm)	29	29
EIRP (dBm)	42	42
Peak Throughput (Mbps)	24.5	24.7
Availability (%)	0	0
Fade Margin (dB)		

En la siguiente figura se puede ver la configuración que se utilizó en simulador Radwin, en donde tomamos datos tales como el modelo de la ODU que es AL-PRO o ALPHA PRO, la cual es muy utilizada gracias a su eficiencia al momento de transmitir o recibir la señal desde su otro extremo, capaz de vencer cualquier tipo de obstáculo no significativo al momento de que entre en funcionamiento, se toma también el canal de banda en el que se puede trabajar, su frecuencia, el nivel de transmisión que tendría y el nivel de tráfico recibido.

5.2.3 Link Profile

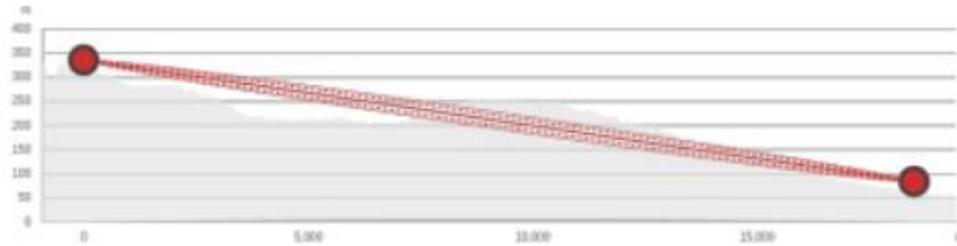


Figura 37. Línea de vista B Y C.

Mediante los resultados tomados por la simulación que el programa captó, se toman en cuenta que a pesar de que se tiene un posible obstáculo entre ambos puntos, estos pueden no ser significativo y probablemente no cause interferencia entre ellos.

Tomando en cuenta los datos y gráfica entre el punto repetidor y la Finca, se procede a calcular entre el punto del repetidor y la Universidad nacional de Ingeniería.



Figura No. 38, Línea de vista desde UNI Central hacia punto C.

Podemos observar el gráfico de elevación, se puede ver que existe un tramo con una inclinación positiva pronunciada hasta el final, (indicado por un incremento de altitud) lo que podría indicar la presencia de obstáculos en la trayectoria, sin embargo, si el análisis se centra exclusivamente en las alturas y el terreno sigue en la línea recta marcada, pareciera que podría haber línea de vista en ciertas secciones, claro ya esto va dependiendo de la inclinación y de los obstáculos locales.

Para poder tener una mejor percepción de lo que se requiere procedemos a utilizar el software Radwin y medir los puntos entre sí, de esta manera podremos tener un mejor resultado, más apegado a la realidad, ya que tomamos los datos que Google heart nos proporciona para poder ingresarlos y de esta manera calcular un resultado más acertado.

Tabla No. 21, Sites Bill of materials.

Type	Name	RWS Items	Additional Items	Total, Items
Radio	RW2000/ODU/Alpha-PRO/F50/WW/EXT/500M	4		
Antenna	RW-Ant/4959/FLAT/DP/14/90	4		

Tomamos la información de los materiales que conllevara este análisis técnico entre estos dos puntos, tal y a como son el radio (Odu) a usar y su antena, que como vemos nos mantendremos trabajando con lo que se usó el enlace anterior.

Tabla No. 22, PTP Summary.

Site A (Hub) Name	Site B (client) Name	Link ID	Distance (km)	Tput DL/UL (Mbps)
PTP UNICentral_0	PTP Raizon_0	Ejem_85410190	16.327	24.9/25.2
PTP Raizon_1	PTP Finca Experimental_0	Ejem_33168838	18.516	24.5/24.7

Vemos los datos reflejados sobre ambos puntos, en donde se toma la distancia, sitios y la cantidad de megabits/s que se usaran.

Tabla No. 23, PTP Links Summary de los puntos.

Parameter	Site A (Hub)	Site B (Client)
Site Name	Unicentral	Raizon
Radio Name	PTP Unicentral_0	PTP Raizon_0
Antenna Azimuth (°)	137.5	317.5
Antenna Tilt(°)	0.7	-0.7
Site Height (m)	60	60
Antenna Height (m)	25	25
Line of Sight	NLOS	
Status	No (LOS)	
Distance (km)	16.327	

Como en la tabla anterior podemos observar los datos reflejados en donde se toman parámetros como la antena, la altura, distancia, status al momento de operarlo, línea de vista.

Tabla No. 24, PTP Links Summary de los puntos.

Parameter	Site A (Hub)	Site B (Client)
Radio Name	PTP UniCentral_0	PTP Raizon_0
Model	AL-PRO	AL-PRO
Product name	RW2000/ODU/Alpha-Pro/F50/WW/Ext/500M	RW2000/ODU/Alpha-Pro/F50/WW/Ext/500M
Antenna	RW-9061-5001	RW-9061-5001
Channel Bandwidth (MHz)	80	
Frequency (MHz)	4940	
Req. Availability (%)	99.9	
RSS (dBm)		
Modulation		
Tx Power (dBm)	26	26
Tx Power System (dBm)	29	29
EIRP (dBm)	42	42
Peak Throughput (Mbps)	24.9	25.2
Availability (%)	0	0
Fade Margin (dB)		

Se pueden observar los parámetros establecidos, en donde se observa el modelo, antena, canal de banda, poder de transmisión, trafico establecido entre otros.

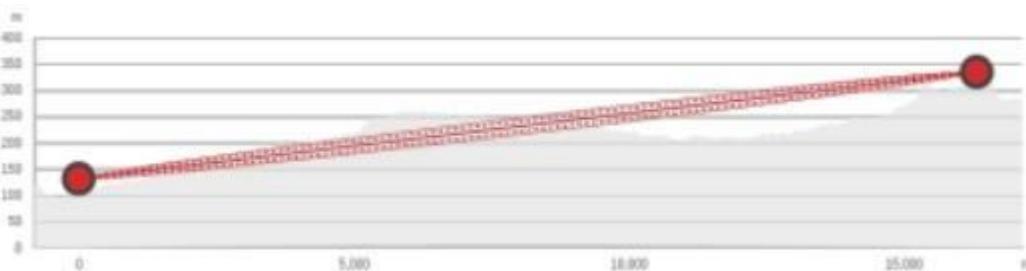


Figura 39, Línea de vista de Uní central hacia Punto C

Y se puede observar como resultado, lo que Google heart nos indicaba al momento de ver sus resultados con respecto a la línea de vista, si bien no se puede constar, el tipo de radio que se está usando es óptimos en estos tipos de caso, se tienen que tomar en cuenta que los obstáculos bien puedes ser

removibles en caso de que se pueda, o bien poner otro punto repetidor, en el pico más alto que nos indicó Heart.

Como se han visto lo posibles escenarios, en donde pueda que, si o pueda que no un radio enlace sea factible, se tiene que tomar en cuenta los tipos de costos que este enlace conllevaría, y se podrían también tener otras consideraciones, e mediante otros tipos de estudios, como el colocar un equipo DWDM que funcione mediante fibra óptica.

Por ejemplo

Se puede proponer la Fibra OPGW (CentraCore Optical Ground Wire) Propuesta para la transmisión de datos entre UNI CENTRAL vs FINCA EXPERIMENTAL UNI-TISMA. Se propone realizar la Tx de datos a través del hilo guarda de FO OPGW propiedad de ENATREL, ya que este tiene cobertura en todo el país, y tiene su ruta de construcción en sector de la UNI CENTRAL, carretera a Masaya, Masaya y Tisma. Esto porque este cable de fibra óptica además de transportar datos es el que distribuye la transmisión de tensión eléctrica de forma primaria a toda la población del país. La ruta de este cable desde Managua-carretera a Masaya-Tisma se encuentra en el punto más alto de los postes propiedad de ENATREL, sobre la banda derecha de Managua hacia Masaya.

Este cable de FO tiene distintos hilos, 12, 24, 48, 60 y 96 hilos de distribución.

Tal y a como lo muestra la figura No. 39



Figura No. 40, Fibra OPGW

Características:

- Recuento de fibras de hasta 96 en el mismo producto de diámetro
- El pequeño diámetro y el bajo peso reducen el impacto de la adaptación
- Los tubos de acero inoxidable soldados por láser y sellados herméticamente proporcionan protección mecánica y térmica a las fibras
- El tubo de aluminio de pared gruesa proporciona resistencia al aplastamiento y aumenta la capacidad de corriente de fallo
- Hilos exteriores seleccionados para optimizar las propiedades mecánicas y eléctricas
- Fibra agrupada en haces de 12 para facilitar la preparación del empalme

Aplicaciones:

- Para su uso por parte de las compañías eléctricas en las líneas de transmisión en lugar del cable de blindaje tradicional
- Para aplicaciones de adaptación en las que el cable de apantallamiento existente debe ser sustituido por OPGW
- Para nuevas líneas de transmisión en lugar del cable de apantallamiento tradicional
- Transmisión de voz, vídeo y datos
- Redes SCADA
- Alquiler de fibra oscura

Como se observa en la figura 39, el cable de FO OPGW se instala en el punto más alto de la torre de Tx.

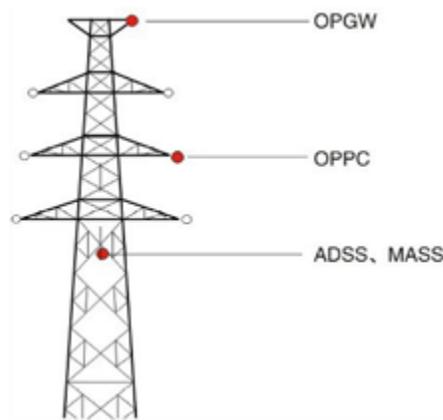


Figura No. 41, Torre de alta tensión.

La Subestación de La Central robustecerá el denominado Anillo de Managua, que actualmente asume la mayor parte de la demanda de todo el país, pues es en la capital y los municipios de Managua, donde hay más desarrollo industrial, comercial y domiciliar.

Un OPGW es mejor conocido como cable de conexión a tierra óptica, compuesto por fibra óptica, acero y alambre de aluminio. El manejo de un OPGW es de alto riesgo, porque estos se colocan en torres de alto voltaje, por eso es necesario apagar las fuentes de energía de las ciudades donde se va a instalar.

Este cable de conexión a tierra óptica es una línea de transmisión, donde se envía y se recibe información, los datos pasan por la fibra óptica facilitando el trabajo a los sitios. La fibra óptica es resistente a altos voltajes y aislante de energía

Presupuesto.

Presupuesto			
UNI RUPAP		FINCA EXPERIMENTAL	
TRAMO DE 100 PIES	\$10,656.75		\$12,418.00
ANTENAS EXTERNA	\$600.00		\$600.00
ODUS	\$3,000.00		\$3,000.00
IDU	\$3,000.00		\$3,000.00
SOPORTES Y BRAZADERAS (200) POR JUEGO	\$200.00		\$200.00
CABLEADO Y CONECTORES	\$400.00		\$400.00
PANELES SOLARES Y BATERIAS DE RESPALDOS (300*UNIDAD)	\$1,200.00		\$1,200.00
SWITCHES Y ROUTERS (500 POR EQUIPO)	\$500.00		\$500.00
MANO DE OBRA	\$3,500.00		\$3,500.00
COSTO TOTAL DEL CONCRETO	\$5,000.00		\$5,000.00
GABINETE PARA EXTERIORES (CLASIFICACION IP54)	\$5,000.00		\$5,000.00
ESTUDIO DEL SUELO	\$800.00		\$800.00
DISEÑO ESTRUCTURAL CERTIFICADO	\$900.00		\$900.00
EXCAVACION DEL TERRENO	\$900.00		\$900.00
BASE ESPECALIZADA PARA TORRES ALTAS	\$4,500.00		\$6,000.00
Costo total	\$40,126.00	TOTAL	\$43,418.00
		\$126,992.00	

Presupuesto 2

Presupuesto			
UNI CENTRAL		SITIO MN0066 EL RAIZON	
TRAMO DE 100 PIES	\$0.00		
ANTENAS EXTERNA	\$600.00		\$600.00
ODUS	\$3,000.00		\$3,000.00
IDU	\$3,000.00		\$3,000.00
SOPORTES Y BRAZADERAS (200) POR JUEGO	\$200.00		\$200.00
CABLEADO Y CONECTORES	\$400.00		\$400.00
PANELES SOLARES Y BATERIAS DE RESPALDOS (300*UNIDAD)	\$1,200.00		\$1,200.00
SWITCHES Y ROUTERS (500 POR EQUIPO)	\$500.00		\$500.00
MANO DE OBRA	\$3,500.00		\$3,500.00
COSTO TOTAL DEL CONCRETO			
GABINETE PARA EXTERIORES (CLASIFICACION IP54)			\$5,000.00
ESTUDIO DEL SUELO			
DISEÑO ESTRUCTURAL CERTIFICADO			
EXCAVACION DEL TERRENO			
BASE ESPECIALIZADA PARA TORRES ALTAS			
	\$12,400.00		\$17,400.00
		\$29,800.00	654,240 córdobas
costo total.	463.264 córdobas	\$73,218.00	Incluyendo la finca.

6 Conclusión y Recomendaciones.

6.1 Conclusiones

En el presente trabajo monográfico se abordó la problemática de comunicación y conectividad entre la Finca Agrícola Experimental y el Recinto Universitario Pedro Arauz Palacios (RUPAP), con el objetivo de diseñar una solución de enlace de radio que cumpla con los requisitos técnicos y operativos necesarios. A continuación, se presentan las conclusiones derivadas de la ejecución exitosa de los objetivos planteados:

Análisis de las necesidades de comunicación y conectividad

Se realizó un análisis exhaustivo de las necesidades de comunicación entre la Finca Agrícola Experimental y el RUPAP, identificando los requisitos de ancho de banda, latencia y confiabilidad necesarios para garantizar una conectividad óptima. Se determinó que la transmisión de datos en tiempo real, la telemetría agrícola y la transferencia de archivos de gran tamaño eran las principales demandas del sistema. Este análisis permitió establecer los parámetros técnicos base para la selección de la tecnología de comunicación más adecuada.

Evaluación de la solución de enlace de radio

Se evaluó la tecnología de comunicación inalámbrica, considerando factores como la distancia entre los puntos, las condiciones del terreno y los recursos disponibles. Tras un análisis comparativo, se seleccionó un enlace de radio en la banda de microondas como la solución más viable, debido a su capacidad para proporcionar alta velocidad de transmisión, baja latencia y estabilidad en condiciones climáticas adversas. Se verificó que esta tecnología cumplía con los requisitos técnicos específicos, incluyendo la capacidad de soportar interferencias y mantener una conexión estable

Análisis técnico

Se llevó a cabo un estudio técnico que incluyó la evaluación del alcance del enlace, la identificación de posibles fuentes de interferencia y la estabilidad de la conexión. Mediante simulaciones y cálculos de propagación de ondas de radio, se confirmó que el enlace propuesto era capaz de cubrir la distancia entre la Finca Agrícola y el RUPAP sin pérdidas significativas de señal. Además, se identificaron estrategias para mitigar interferencias, como la selección de frecuencias no congestionadas y el uso de antenas direccionales de alta ganancia.

Propuesta de diseño del enlace de radio

Finalmente, se propuso un diseño detallado del enlace de radio, incluyendo especificaciones técnicas como la frecuencia de operación, la potencia de transmisión, el tipo de antena y la configuración de los equipos. Se consideraron aspectos clave para su implementación, como la alineación de antenas, la instalación de equipos de protección contra descargas atmosféricas y la integración con la infraestructura de red existente en el RUPAP. El diseño propuesto demostró ser técnicamente viable, asegurando una solución robusta y escalable para las necesidades de comunicación identificadas

6.2 Recomendaciones.

Se presentan las siguientes recomendaciones para mejorar el diseño del radioenlace y brindar una mayor robustez al sistema propuesto. Estas recomendaciones están orientadas a optimizar el desempeño, garantizar la confiabilidad a largo plazo y asegurar la escalabilidad del sistema

Mejoras en el Análisis de Necesidades de Comunicación.

Ampliación del alcance del análisis: Se recomienda realizar un estudio más profundo de las futuras necesidades de comunicación, considerando posibles expansiones de la Finca Agrícola Experimental y el RUPAP. Esto incluye la incorporación de nuevas aplicaciones, como videovigilancia, IoT agrícola y sistemas de automatización, que podrían incrementar la demanda de ancho de banda.

Evaluación de redundancia: Se sugiere analizar la posibilidad de implementar un sistema de comunicación redundante, como un enlace de respaldo en otra banda de frecuencia (por ejemplo, banda de 5 GHz o fibra óptica inalámbrica), para garantizar la continuidad del servicio en caso de fallas en el enlace principal.

Optimización del Diseño del Enlace de Radio

Selección de equipos de alta calidad: Se recomienda utilizar equipos de radio de última generación con características avanzadas, como modulación adaptativa (Adaptive Modulation) y corrección de errores (FEC, Forward Error Correction), para mejorar la eficiencia espectral y la resistencia a interferencias.

Uso de antenas de alta ganancia y bajo perfil: Se sugiere emplear antenas direccionales de alta ganancia con bajo nivel de lóbulos laterales para minimizar la interferencia y maximizar la eficiencia del enlace. Además, se debe considerar el uso de antenas con protección contra condiciones climáticas adversas.

Implementación de diversidad de frecuencias: Para aumentar la robustez del enlace, se recomienda evaluar la posibilidad de utilizar diversidad de frecuencias, operando en dos

bandas diferentes (por ejemplo, 6 GHz y 11 GHz), lo que permitiría mitigar los efectos de desvanecimiento por multitrayectoria y condiciones atmosféricas

Mejoras en el Análisis de Viabilidad Técnica

Estudio de propagación más detallado: Se recomienda realizar un estudio de propagación más exhaustivo, utilizando herramientas de simulación avanzadas (como Pathloss o Radio Mobile) que consideren efectos atmosféricos, obstrucciones y reflexiones en el terreno. Esto permitirá ajustar con mayor precisión la altura de las torres y la alineación de las antenas.

Monitoreo de interferencias: Se sugiere implementar un sistema de monitoreo continuo de interferencias en la banda de operación, utilizando analizadores de espectro o equipos con capacidad de detección automática de interferencias. Esto permitirá identificar y mitigar fuentes de interferencia de manera proactiva

Consideraciones para la Implementación y Mantenimiento

Plan de instalación detallado: Se recomienda elaborar un plan de instalación que incluya la ubicación óptima de las torres, la altura de las antenas, la orientación precisa y la instalación de sistemas de protección contra rayos y sobretensiones.

Capacitación del personal: Se sugiere capacitar al personal técnico encargado de la operación y mantenimiento del enlace, proporcionándoles conocimientos sobre la configuración, diagnóstico y resolución de problemas en sistemas de microondas.

Mantenimiento preventivo: Se recomienda establecer un programa de mantenimiento preventivo que incluya revisiones periódicas de los equipos, limpieza de antenas, verificación de la alineación y actualización de firmware.

Escalabilidad y Futuras Mejoras

Diseño modular y escalable: Se recomienda diseñar el sistema con capacidad de escalabilidad, permitiendo la incorporación de nuevos enlaces o la ampliación del ancho de

banda en el futuro sin necesidad de reemplazar la infraestructura existente.

Integración con tecnologías emergentes: Se sugiere evaluar la integración del enlace de microondas con tecnologías emergentes, como redes 5G, IoT y sistemas de inteligencia artificial, para aprovechar las ventajas de estas tecnologías en aplicaciones agrícolas y educativas.

Documentación técnica completa: Se recomienda elaborar un manual técnico detallado que incluya esquemas de configuración, procedimientos de instalación, protocolos de mantenimiento y recomendaciones para la resolución de problemas.

7 Bibliografía.

[1] VIU Universidad Internacional de Valencia. Planeta Formación y Universidades. 21 marzo 2018 Equipo de Expertos en Ciencia y Tecnología, [En línea]. Available: <https://www.universidadviu.com/int/actualidad/nuestros->

[2] expertos/radiofrecuencia-que-es-y-cuales-son-sus-aplicaciones, [En línea]. Available: <https://www.universidadviu.com/int/actualidad/nuestros-expertos/radiofrecuencia-que-es-y-cuales-son-sus-aplicaciones>

[3] ATL EUROPA. ¿Qué es un radio enlace? ISO 9001-2015, [En línea]. Available: <https://www.atleuropa.es/que-es-radio-enlace/>

[4] ANTONIO MELGAREJO PEÑA/ Telefonía, Radio, Televisión e ICT/Radioenlaces punto a punto. Educa Madrid - 2023 -Vicepresidencia, Consejería de Educación y Universidades, [En línea]. Available: <https://www.educa2.madrid.org/web/antonio.melgarejo/radioenlaces-punto-a-punto>

[5] ESCUELA POLITECNICA NACIONAL. ESCUELA DE FORMACION DE TECNOLOGOS. Estudio y diseño de un radio enlace para transmisión de datos e internet en frecuencia libre para la cooperativa indígena “Alfa y Omega” utilizando equipos Airmax de Ubiquiti-Quito, abril 2015. [En línea]. Available: <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/10776/1/CD-6315.pdf>

[6] UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA. Diseño de Radioenlace Multipunto para proporcionar internet a 5 escuelas del municipio Wiwilí- Nueva Segovia-Managua, Nicaragua. Enero 2017. [En línea]. Available: <https://ribuni.uni.edu.ni/1213/1/80623.pdf>

[7] Introducción al cálculo de radioenlaces: Serie Ingeniería. De Pedro E. Danizio 26 de marzo 2021, [En línea]. Available:

https://www.google.com.ni/books/edition/Introducci%C3%B3n_al_c%C3%A1lculo_de_radioenlace/wUdkzqEACAAJ?hl=eS

[8] ONDAS ELECTROMAGNÉTICAS. CONCEPTOS BÁSICOS-Ingeniería eléctrica. [En línea]. Available: http://www.uco.es/organiza/departamentos/ing-electrica/documentos/ONDAS_EM_CONCEPTOS_BASICOS.pdf

[9] RED DE BANDA ANCHA RURAL INALÁMBRICA PARA COMUNIDAD WASA KING, MINA ROSITA, REGIÓN AUTÓNOMA ATLANTICA DE NICARAGUA. [En línea]. Available:

<https://ribuni.uni.edu.ni/1698/1/91323.pdf>

[10] Enríquez C. Laura S, Ramírez L. Rodrigo. 2009. Implementación de una red inalámbrica; Biblioteca Central. Tesis Ing. Comp. Universidad Autónoma de México. Fac. Ing., 97 p, [En línea]. Available:

https://repositorio.unam.mx/contenidos/implementacion-de-una-red-inalambrica-en-la-biblioteca-central-3472805?c=BPNYNy&d=false&q=biblioteca_nacional_digital&i=1&v=1&t=search_0&as=0

[11] Ondas electromagnéticas, [En línea]. Available:

<https://www.pepeeenergy.com/blog/glosario/definicion-onda-electromagnetica/>

[12] "No evidence for polarization sensitivity in the pigeon electroretinogram", J. J. Vos Hzn, M. A. J. M. Coemans & J. F. W. Nuboer, The Journal of Experimental Biology, 1995.

[13] Juan José [7] Murillo Fuentes, Fundamentos de Radiación y Radiocomunicación, Universidad de Sevilla, España, 2 edición [En línea]. Disponible en:

<https://personal.us.es/murillo/docente/Libros/FundRadiacionyRadiocom.pdf>

[14] Transparencia uso y aplicaciones de un radio enlace, [En línea]. Disponible en:

<https://www2.ulpgc.es/hege/almacen/download/29/29682/transparenciasderadiol enlaces.pdf>

[15] Implementación de una red inalámbrica para proveer internet a las escuelas N° 31487 y José Gálvez de Perene, Chanchamayo – 2021, [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/6853>

[16] Diseño de radio - enlace de comunicaciones desde el municipio de el Cocuy a las instituciones educativas rurales la playa, Tobarito, el Cardón, Carrizalito e Isleta, [En línea]. Disponible en:

<http://repository.unipiloto.edu.co/handle/20.500.12277/10134>

[18] Diseño de interconexión para enlace de microondas punto a punto entre las comunidades de San Carlos y el archipiélago de Solentiname. Disponible en <https://repositorio.unan.edu.ni/5398/1/68181.pdf>

[19] Zona de Fresnell en un radio enlace Disponible en: <https://www.prored.es/zonas-de-fresnel-en-un-radioenlace/>

[20] Estudio de la viabilidad de un radio enlace. Disponible en: <https://idus.us.es/items/52e562ac-09c9-41fb-82be-450072c996d3>

