



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE ELECTROTECNIA Y COMPUTACION
DEPARTAMENTO DE SISTEMAS DIGITALES Y
TELECOMUNICACIONES**

**Monografía para optar al Título de
Ingeniero en Telecomunicaciones**

**Diseño de un sistema de radiocomunicación para proveer
servicios de internet a Ciudad Residencial El Doral.**

Autores:

Br. Carlos Rafael López Dávila

Carnet: 2011-39753

Br. Guillermo Silvestre Martínez Pulido

Carnet: 2011-39577

Tutor:

Msc. Ing. Cedrick Dalla-Torre Parrales

Managua, Nicaragua Septiembre, 2022

AGRADECIMIENTOS

DEDICATORIA:

Dedico este trabajo a las personas que me han apoyado para su desarrollo, reúno mi admiración por su simpatía y el espíritu de lucha que ejercen con su fuerza de voluntad, gracias a Dios por hacer posible la culminación de esta etapa formándome de mayor carácter para las vicisitudes de la vida.

Br. Carlos Rafael López Dávila

Dedico este proyecto a Dios por brindarme la capacidad y el entendimiento para llevar acabo la realización de nuestro proyecto.

Le doy gracias a mi familia y amigos por el apoyo que me han brindado, por inculcarme valores y contribuir día a día con mi formación educativa para convertirme en el hombre que soy hoy en día.

Br. Guillermo Silvestre Martínez Pulido

RESUMEN

El presente estudio monográfico trata sobre la realización de un diseño y simulación de un enlace punto a punto desde la Gruta Xavier a Residencial Ciudad el Doral, para crear una red punto multipunto para proveer servicios de internet a esta zona de una manera más económica y eficiente cumpliendo los estándares de los abonados.

Se emplea esta tecnología para zonas donde los gastos de instalación de una infraestructura cableada por parte de una empresa son de mucha inversión, por consiguiente, se hará uso de la tecnología por radio frecuencia en frecuencias microondas, el cual no resta calidad de servicio a las empresas que lo requieran, es también accesible a los usuarios que demanden un amplio ancho de banda con tarifas más bajas comparadas con otras tecnologías.

La simulación de la red de enlaces se realizó con ayuda del software Radio Mobile y Google Earth, obteniendo resultados viables de cada uno de los enlaces para una posible implementación usando la tecnología Radwin 2000 y UBIQUITI. Se hizo una descripción de los equipos que trabajan en la banda de frecuencia de 5 GHz. Una vez obtenidos los datos en cuanto a la cantidad de equipos y accesorios a utilizar en los sitios se elaboró un presupuesto de dicho trabajo obteniendo una reducción en los alcances del proyecto.

Contenido

INTRODUCCIÓN	1
OBJETIVOS	2
Objetivo General:	2
Objetivos Específicos:	2
JUSTIFICACIÓN	3
ANTECEDENTES	4
1. Fundamentos Teóricos	6
1.1 Ondas Electromagnéticas	6
1.2 Ondas Microondas	7
1.3 Bandas de frecuencias libres o no licenciadas	8
1.4 Radio Enlace	9
1.5 ¿Que es un enlace Troncal?	10
1.6 Definición de Red de área local (LAN)	10
1.7 Definición de VLAN	10
1.8 Estándar IEEE 802.1Q	11
1.9 Fenómenos Asociados a la Propagación de las Microondas	11
1.10 Relación señal ruido (SNR)	15
1.11 Diseño de un Radioenlace.	15
1.12 Diseño Básico de un Radioenlace	16
1.13 Definiciones de las unidades Logarítmicas que se emplean en un radio enlace	17
2 Conceptos Básicos de propagación	19
2.1 Modelo de Propagación	19
2.2 Propagación en el espacio libre	19
2.3 Zona de Fresnel	20
2.3.1 Curvatura de la Tierra	23
2.4 Modelo de Propagación por Desvanecimiento.	24
2.4.1 Propagación Multitrayectoria.	24
2.4.2 Pérdidas por trayectoria en el espacio libre	25
2.5 Margen de desvanecimiento.	25
2.6 Confiabilidad del enlace	26
2.7 Antenas	27
2.8 Ancho de banda	29

2.9 Potencia isotrópica efectiva irradiada	29
2.10 Bit Error Rate (BER)	29
3. Diseño de un sistema de radio comunicación punto a punto utilizando Equipos Radwin 2000+D como enlace troncal para brindar servicio de internet vía radio enlace punto multipunto a Ciudad el Doral con equipos Airmax de Ubiquiti AC.	30
3.1 Aspectos legales para la realización del radioenlace	30
3.2 Equipos de Radio	31
3.3 Conexiones físicas de los radios Radwin	37
3.4 Dispositivo Poe (Power Over Ethernet)	38
3.5 Interfaz del radio Radwin	38
3.5.1 Configuración de la unidad ODU	39
3.5.2 Configuración Modo MIMO	43
4.1 Radio Mobile	48
4.1.1 Parámetros Generales	48
4.1.2 Parámetros Específicos para el Modelo Longley-Rice	48
4.1.3 Instalación de Software Radio Mobile	49
4.2 Configuración del enlace punto a punto (Troncal)	49
4.3 Simulación del enlace troncal haciendo uso del Software Radio Mobile	53
4.4 Cálculos del Radio Enlace	55
4.4.1 Distancia entre los sitios Nodo Gruta Xavier – Residencial Ciudad Doral	55
4.4.2 Cálculo para el radio enlace punto multipunto	63
4.4.3 Perfil de los enlaces PTMP usando la tecnología UBIQUITI	69
4.5 Ventajas y desventajas al proveer servicios de internet por medio de radio enlaces punto multipunto.	74
4.5.1 Ventajas	74
4.5.2 Desventajas	75
4.6 Diseño de la red VLAN	77
4.7 Topología de Red PTMP	81
4.8 Análisis de costo	81
Conclusiones	85
Recomendaciones	86
Referencias	87
Anexos	89

ABREVIATURAS

PTP: Punto a punto

PTMP: Punto Multipunto

UIT: Unión Internacional de Telecomunicaciones

TELCOR: Instituto de comunicaciones y correo (Ente Regulador)

Radio Master: Radio Maestro o equipo transmisor

Radio Slave: Radio esclavo o equipo receptor UBNT: UBIQUITI Networks

RF: Radio Frequency (Radio frecuencia)

ISP: Internet Service Provider (Proveedor de servicios de internet)

WAN: Wide Area Network (Red de área amplia)

LAN: Local Area Network (Red de área Local)

VLAN: Virtual Local Area Network (Red de area local virtual)

LOS: Line of Sight (Línea de vista)

ISM: Industrial, Scientific and Medical (Industrial, científico y medico)

ODU: Outdoor Unit

IDU: Indoor Unit

POE: Power Over Ethernet

INTRODUCCIÓN

Este proyecto tiene como objetivo el planteamiento de proveer un servicio de telecomunicaciones fijo en zonas residenciales donde aún no hay mucha demanda de proveedores de internet (ISP). El objetivo principal es el estudio y simulación de un nodo de Radio Frecuencia (RF) para presentar una propuesta asequible en el ámbito económico, y confiable hablando en el aspecto técnico, además este servicio permite la transmisión de internet de forma confiable a toda la zona residencial.

En un sistema de comunicación punto a punto y punto multipunto se requiere establecer el aspecto de acceso que tiene como meta ofrecer la mejor calidad demandada para los radioenlaces. Para la realización de los perfiles de transmisión los programas a utilizar en el proyecto son Google Earth y Radio Mobile, que son los que permiten recopilar la información requerida para simular el sistema de telecomunicaciones y brindar el servicio que estará enfocado en la zona de Ciudad Sandino en la residencial Ciudad el Doral.

En lo que se refiere a la planeación de los radioenlaces punto a punto y punto multipunto se deben conocer las especificaciones técnicas del equipamiento que se utilizará en caso de una implementación a futuro. Los equipos a utilizar trabajan en la banda 5Ghz, lo cual son de fácil implementación siempre y cuando se realice el diseño que demuestre su viabilidad técnica de la propuesta a implementar, estas son frecuencias libres y ayuda a reducir costos del proyecto.

OBJETIVOS

Objetivo General:

Realizar el diseño de un sistema de simulación con equipo Radwin 2000+ como enlace troncal, dirigido desde la gruta Xavier hacia ciudad Sandino en la residencia Ciudad el Doral, y diseñar una red Punto multipunto utilizando tecnología UBIQUITI AirMAX - 5GHz, para proveer el servicio de internet a los residentes de Ciudad el Doral.

Objetivos Específicos:

- Realizar el sistema de simulación Punto multipunto que brindara cobertura de internet a la residencial Ciudad el Doral.
- Determinar los parámetros y los equipos a utilizar en el diseño de los enlaces para la transmisión de internet.
- Abarcar ventajas y desventajas al ofrecer internet por medio de radio enlaces punto multipunto.
- Diseño de la red LAN para el sistema de radiocomunicación.
- Realizar un análisis de costo de los equipos y los recursos que se requieren en el diseño de cada enlace.

JUSTIFICACIÓN

En la zona de ciudad Sandino en residencial Ciudad el Doral, donde se enfoca este trabajo monográfico, actualmente no cuenta con un servicio de internet con una conectividad eficiente por la alta demanda de los usuarios que habitan en dicho sector, y la escasez que hay de infraestructura para brindar este servicio. En este lugar hay pocos proveedores de servicio de internet y los que se encuentran hoy en día no disponen con un servicio de buena calidad debido a la poca infraestructura en la que han invertido, ya que esta ayudaría a tener una mejor tecnología y una conexión más estable de internet.

Los actuales proveedores no pueden proporcionar la tecnología adecuada para brindar una mayor optimización a los servicios contratados por el usuario, de la misma manera no cuentan con un soporte técnico confiable cuando dicho servicio se encuentra fuera de gestión, de ahí la problemática del proveedor al no cumplir los estándares esperados por los clientes.

Lo que se pretende con esta propuesta es mejorar la calidad de conexión de internet fijo, para satisfacer las necesidades de los usuarios como un proveedor de servicios de internet, ya que los que hay actualmente cuentan con un ancho de banda limitado cuando hay clientes que demandan una mayor cobertura ya sea para fines laborales, de estudio, entre otros.

Con este proyecto monográfico se espera llevar a cabo la realización de un nodo de radio frecuencia para suplir las necesidades de los suscriptores, por lo tanto, se planteó el diseño de simulación de un radio enlace donde se eligió la gruta Xavier (ubicado en las cercanías de la cuesta el plomo), el cual este sitio cuenta con varios proveedores como lo son: Ideay, IBW, Alpha Numeric, etc. que por una línea de fibra óptica nos proveerá el recurso solicitado.

Este sitio también cuenta con las características ideales como son las condiciones topográficas, así como altitud y línea de vista, para la construcción de un Radio Enlace.

ANTECEDENTES

La información que se aborda en este proyecto monográfico no es implementación de nueva tecnología, ya que son temas de investigación y que son aplicados en la actualidad con gran frecuencia. Para estudios de tesis este protocolo se apoya en la propuesta [1] que se presentó en el año 2018 y [2] que fue presentada en el año 2017. El proyecto [1] el resumen del alcance fue: Diseño de un radio enlace entre el hospital Lenin Fonseca y el hospital escuela Manolo Morales Peralta, en el que se utilizó la herramienta Google Earth y Pathloss 5.0.

El resultado de [2], consistió en un diseño de radioenlace multipunto para proporcionar internet a 5 escuelas con el alcance de llevar una red de datos a los estudiantes para el desarrollo de su educación. Este municipio que no cuenta con infraestructura para su pleno crecimiento y que depende solamente de la agricultura y la ganadería, la propuesta de llevar una de las herramientas más importantes en nuestra actualidad que es el internet sería un incremento en el progreso de esta comunidad. En este proyecto se utilizó la herramienta Radio Mobile para realizar los perfiles de transmisión. En nuestra propuesta se realizarán dichos perfiles usando Google Earth y Radio Mobile.

Para estudios de radio enlaces y en la implementación de este enlace troncal para que del mismo se distribuya una red multipunto y ofrecer el servicio de internet, no necesita apegarse a las normativas o regulaciones de un ente regulador como lo es TELCOR ya que se utilizaran un rango de frecuencias libres de 5Ghz. Existen frecuencias licenciadas y frecuencias libres, por supuesto estos grupos de frecuencias varían en diferentes países debido a las regulaciones locales, pero están más o menos homologadas y se regulan a través de un organismo supranacional llamado UIT (Unión internacional de Telecomunicaciones). Las bandas particulares son bandas de uso privativo normalmente comparadas al organismo nacional regulador de las telecomunicaciones y solamente su dueño puede usarlas. Un ejemplo frecuente son las frecuencias de telefonía móvil en

rangos de 900 y 1800 MHz donde las compañías tienen el uso exclusivo de estas bandas para dar el servicio requerido. Teniendo en cuenta esto y sin la necesidad de un permiso requerido para transmitir el servicio de internet esto disminuye en manera considerable los costos.

Capítulo I

1. Fundamentos Teóricos

1.1 Ondas Electromagnéticas

Es la combinación de ondas en campos eléctricos y campos magnéticos que se producen por una carga en movimiento, esta se inicia por una partícula cargada la cual crea un campo eléctrico que ejerce fuerza sobre otras partículas, al acelerarse la partícula, oscila en su campo eléctrico produciendo un campo magnético. (electromagnética, 2022)

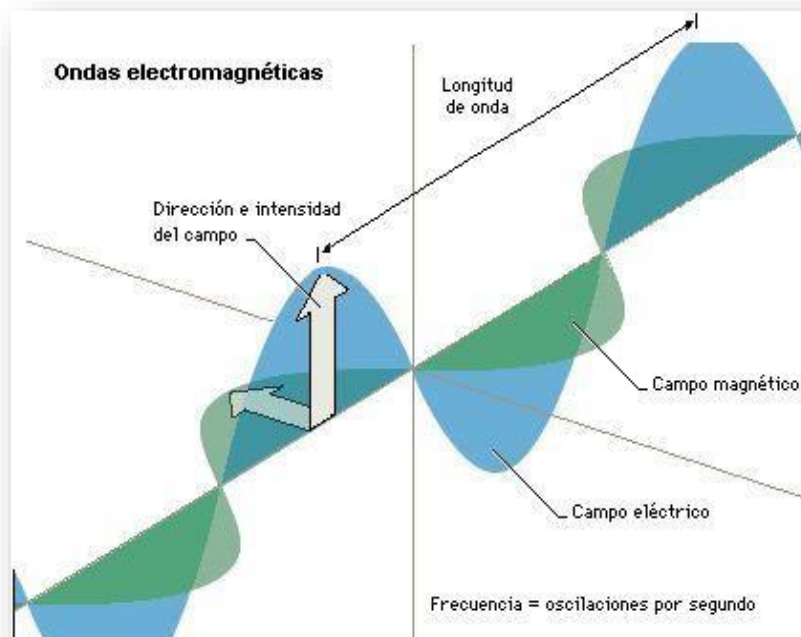


Ilustración 1 Campo Electromagnético

Fuente: <http://esimez-jahm.blogspot.com/2014/03/caracteristicas-de-las-senales.html>

De acuerdo al libro Antenas Reflectoras en Microondas (Bava, 2013), la onda electromagnética se caracteriza por su frecuencia (f) o su longitud de onda (λ), ambas relacionadas por la velocidad de propagación en el medio (c), según la ecuación: $c = f \cdot \lambda$

1.2 Ondas Microondas

El término Radiofrecuencia o RF, se aplica a la porción del espectro electromagnético en el que se pueden producir ondas electromagnéticas, una onda electromagnética propaga simultáneamente campos eléctricos y magnéticos producidos por una carga eléctrica en movimiento. El flujo saliente de energía de una fuente en forma de ondas electromagnéticas se le denomina radiación electromagnética. La Radiofrecuencia se localiza en el espectro de la radiación electromagnética menos energética, se define como aquella en que las ondas electromagnéticas tienen una frecuencia entre 3 kHz y 300 GHz.

No todas las ondas electromagnéticas tienen el mismo comportamiento en el medio de propagación, la misma procedencia o la misma forma de interacción con la materia. Por ello, el espectro electromagnético de radiofrecuencia se divide convencionalmente en segmentos o bandas de frecuencia, las cuales se atribuyen para diferentes servicios inalámbricos, la gestión y asignación del espectro está en competencia de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT), que asigna bandas de frecuencia donde el servicio debe de operar. Se pueden apreciar en la ilustración 4 además de algunos servicios típicos de cada banda. (Castillo, Castillo, Sotomayor, Gozales, & Centeno, 2014)

Frecuencias	Designación	Servicios Típicos
3-30 KHz	VLF (Muy baja frecuencia)	Navegación, Sonar
30-300 KHz	LF (Baja frecuencia)	Radio guía, ayudas a la navegación
0.3-3 MHz	MF (Media frecuencia)	Radiodifusión AM, servicios marítimos
3-30 MHz	HF (Alta frecuencia)	Telefonía, telégrafo, banda ciudadana, comunicaciones mar-tierra y mar – aire

30-300 MHz	VHF (Muy alta frecuencia)	Televisión, radiodifusión FM, control tráfico aéreo, ayudas a la navegación
0.3-3 GHz	UHF (Ultra alta frecuencia)	Televisión, hornos domésticos, comunicaciones satélites, radares de vigilancia
3-30 GHz	SHF (Súper alta frecuencia)	Radares embarcados, de policía, de aeropuertos, comunicaciones vía satélite, radioenlaces, televisión por cable.
30-300 GHz	EHF (Extremadamente alta frecuencia)	Radar, Localización de misiles

Tabla 1 Bandas del espectro radioeléctrico

1.3 Bandas de frecuencias libres o no licenciadas

Las bandas de frecuencia de acceso libre pueden ser utilizadas por el público en general, bajo los lineamientos o especificaciones que establezca el instituto regulador de cada país, sin necesidad de concesión o autorización.

Las Frecuencias no-licenciadas son una plataforma amplia, barata y rápida para construir sus soluciones inalámbricas. A pesar del gran uso del espectro de licencia libre, sigue siendo una excelente plataforma para construir enlaces inalámbricos de bajo precio, rápidos y confiables.

1.3.1 Bandas Libres

La Comisión Federal de Comunicaciones (FCC, por sus siglas en inglés) ha proporcionado varias bandas de licencia libre (**Bandas ISM & U-NII**) para que puedan ser utilizadas por la comunidad inalámbrica:

- 900 MHz: 902-928 MHz
- 2.4 GHz: 2403-2483 MHz
- 5 GHz: 5725-5850 MHz, 5150-5250 MHz, 5250-5350 MHz, 5725-5825 MHz

900 MHz vs 2.4 GHz vs 5 GHz Frecuencias Inalámbricas de Licencia Libre			
	900 MHz	2.4 GHz	5 GHz
Popularidad	No usadas ampliamente en redes WISP	Ampliamente usadas	Volviéndose ampliamente usadas
Velocidad	Bajo Throughput	Alto Throughput	Alto Throughput
Costo	No caro	No caro	No caro
Frecuencia	Abarrotado, Buen uso Nlos	Abarrotado	Alcance promedio
Alcance	Débil	Promedio	Promedio
Aplicación	Mesh, PTMP cortos con muchos obstáculos	Mesh, PTP, PTMP	Backhaul, PTP, PTMP

Tabla 2 Bandas de frecuencias libres

(Plata, 2011)

1.4 Radio Enlace

Se denomina radio enlace a cualquier interconexión entre los terminales de telecomunicaciones efectuados por ondas electromagnéticas. Además, si los terminales son fijos, el servicio se lo denomina como tal y si algún terminal es móvil, se lo denomina dentro de los servicios de esas características.

Se puede definir al radio enlace del servicio fijo, como sistemas de comunicaciones entre puntos fijos situados sobre la superficie terrestre, que proporcionan una capacidad de información, con características de calidad y disponibilidad determinadas. Típicamente estos enlaces se explotan entre los 800 MHz y 42 GHz.

El correcto diseño de un radioenlace produce un sistema de alta calidad, capaz de transmitir gran cantidad de información de manera económica y eficiente. (Ruesca, 2016)

Los radioenlaces operan en línea de vista, generalmente debe existir visibilidad radioeléctrica entre los extremos transmisor y receptor. Un radioenlace opera en el modo full dúplex, es decir que permite transmitir y recibir simultáneamente. Por esta razón cuando se designa una frecuencia de operación en realidad se están designando dos frecuencias: una de “ida y otra de retorno “. (Albornoz, 2007)

1.5 ¿Que es un enlace Troncal?

Es un enlace que se configura en uno o más puertos de un switch para permitir el paso del tráfico de las distintas VLANs que hemos configurado. Este enlace puede funcionar en una conexión de switch a otro switch o bien, de un switch a un router, e incluso de un switch a un servidor que soporte el estándar 802.1Q para «pasarle» varias VLANs simultáneamente. En cualquiera de los casos, no hay dudas respecto a su eficacia, pues ahorra la necesidad de utilizar un enlace físico para cada VLAN. (Fernandez, 2020)

1.6 Definición de Red de área local (LAN)

Local Area Network o Red de Area Local, proporciona el medio más económico y eficaz de manejar las necesidades locales de comunicación de datos. Una red de área local es, un sistema de comunicaciones de datos de propiedad privada, en el que los usuarios comparten recursos, incluyendo programas de cómputo. Las LAN proporcionan comunicaciones en dos sentidos, entre una gran variedad de terminales de comunicación de datos y dentro de un área geográfica limitada. (Tomasi, 2013)

1.7 Definición de VLAN

VLAN es un acrónimo que deriva de una expresión inglesa: virtual LAN. Esa expresión, por su parte, alude a una sigla ya que LAN significa Local Area Network.

De este modo, podemos afirmar que la idea de VLAN refiere a una red de área local (lo que conocemos como LAN) de carácter virtual.

En concreto, una VLAN puede formarse con dos redes de computadoras (ordenadores) que se hallan conectadas, en sentido físico, a distintos segmentos de una LAN, pero que sin embargo actúan como si estuviesen unidos al mismo puerto. Dado que la configuración de la VLAN se realiza a través del hardware, la red virtual tiene una gran estabilidad y fortaleza. (Perez Porto & Merino, 2017)

1.8 Estándar IEEE 802.1Q

El protocolo IEEE 802.1Q, es el que permite a múltiples redes compartir de forma transparente el mismo medio físico, sin problemas de interferencia entre ellas (Trunking) o enlace troncal. Los troncales se utilizan para transportar tráfico que pertenece a varias VLAN entre dispositivos a través del mismo enlace. Un dispositivo puede determinar a qué VLAN pertenece el tráfico por su identificador de VLAN. El identificador de VLAN es una etiqueta que se encapsula con los datos. ISL y 802.1Q son dos tipos de encapsulación que se utilizan para transportar datos de varias VLAN a través de enlaces troncales.

802.1Q es el estándar IEEE para etiquetar tramas en un enlace troncal y admite hasta 4096 VLAN. Cuando configura un enlace troncal 802.1Q, debe asegurarse de configurar la misma VLAN nativa en ambos lados del enlace troncal. IEEE 802.1Q define una única instancia de árbol de expansión que se ejecuta en la VLAN nativa para todas las VLAN de la red. (Cisco, 2006)

1.9 Fenómenos Asociados a la Propagación de las Microondas

La presencia de la superficie terrestre y de la atmósfera afecta la propagación de las señales de microondas a través de los mecanismos de difracción, reflexión, refracción, absorción y dispersión.

1.9.1 Difracción

La difracción es el fenómeno por el cual una onda que atraviesa un obstáculo por un orificio pequeño se distorsiona y se propaga en todas direcciones detrás de dicho orificio.

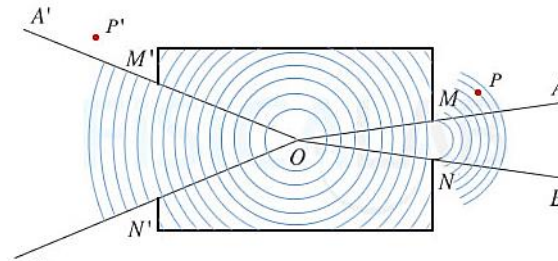


Ilustración 2 Fenómeno de difracción

Fuente: <https://www.fisicalab.com/apartado/difraccion-ondas>

1.9.2 Reflexión

La reflexión es el cambio de dirección del movimiento ondulatorio que ocurre en el mismo medio en que se propagaba, después de incidir sobre la superficie de un medio distinto. Se rige por dos principios o leyes de la Reflexión:

- El rayo incidente, el reflejado y la normal a la superficie en el punto de incidencia están en el mismo plano
- El ángulo del rayo incidente \hat{i} y el de reflexión \hat{r} son iguales

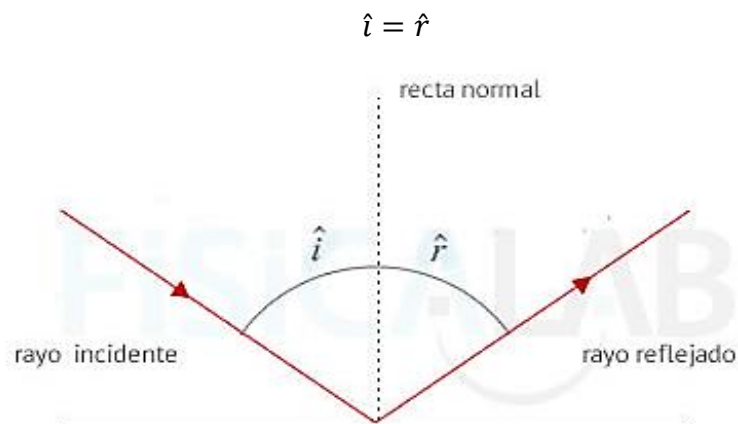


Ilustración 3 Fenómeno de Reflexión

Fuente: <https://www.fisicalab.com/apartado/reflexion-refraccion-luz>

1.9.3 Refracción

La refracción es el cambio de dirección del movimiento ondulatorio que ocurre tras pasar este de un medio a otro en el que se propaga con distinta velocidad. Se rige por dos leyes:

- El rayo incidente, el refractado y la normal a la superficie en el punto de incidencia están en el mismo plano.
- La ley de Snell de la refracción, que marca la relación entre el ángulo de incidencia \hat{i} y el de refracción \hat{r} , y las velocidades de las ondas en los medios 1 y 2, v_1 y v_2 , según:

$$\frac{\sin(\hat{i})}{\sin(\hat{r})} = \frac{v_1}{v_2} = n_{2,1}$$

Siendo $n_{2,1}$, el índice de refracción del segundo medio respecto al primero, una constante adimensional.

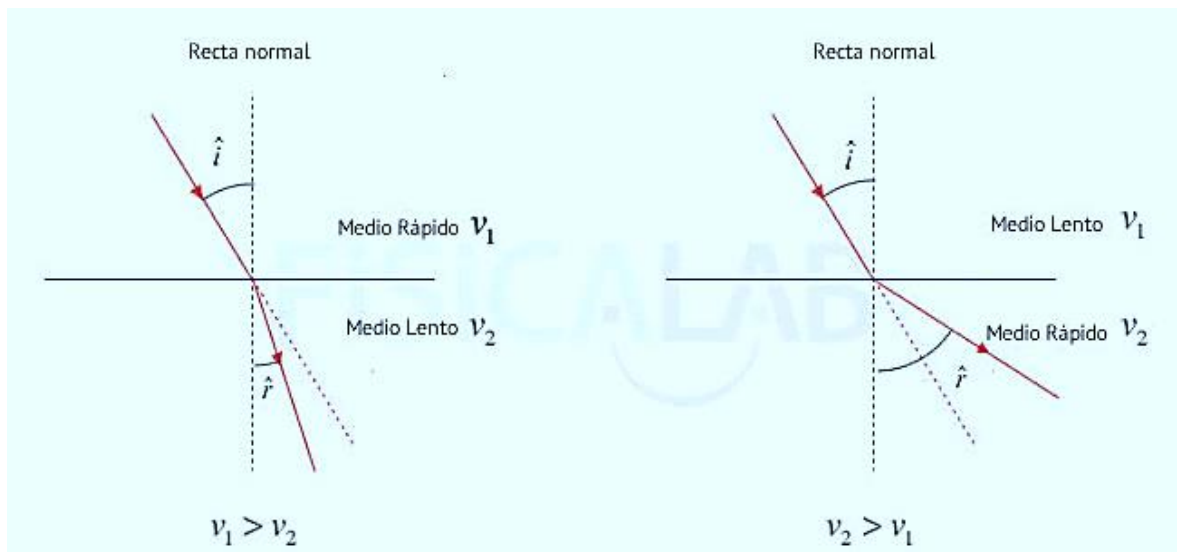


Ilustración 4 Fenómeno de Refracción

Fuente: <https://www.fisicalab.com/apartado/reflexion-refraccion-ondas>

1.9.4 Absorción y dispersión

La absorción se define como el fenómeno por el cual la intensidad de las señales de microondas disminuye debido a dos gases que contiene la atmósfera, los cuales

son el oxígeno y el vapor del agua. La pérdida de potencia de la señal debida a este fenómeno es una función de la frecuencia y de las concentraciones de estos gases en la atmosfera, esto se debe a los momentos magnéticos y eléctricos propios de las moléculas del oxígeno y del agua.

Cuando se encuentra condensado el vapor de agua en forma de niebla o lluvia, este produce perdidas dependiendo de la relación entre la longitud de onda de la señal y del tamaño promedio de las gotas de agua. Las pérdidas serán predominantes si el tamaño de las gotas de agua es muy pequeño, esto es debido a la absorción. Si por el contrario el tamaño de las gotas es comparable a la longitud de onda de la señal, la energía que incide sobre las gotas será dispersada en direcciones aleatorias, como resultado hay un debilitamiento de la potencia de la señal que se recibe. (Albornoz, 2007)

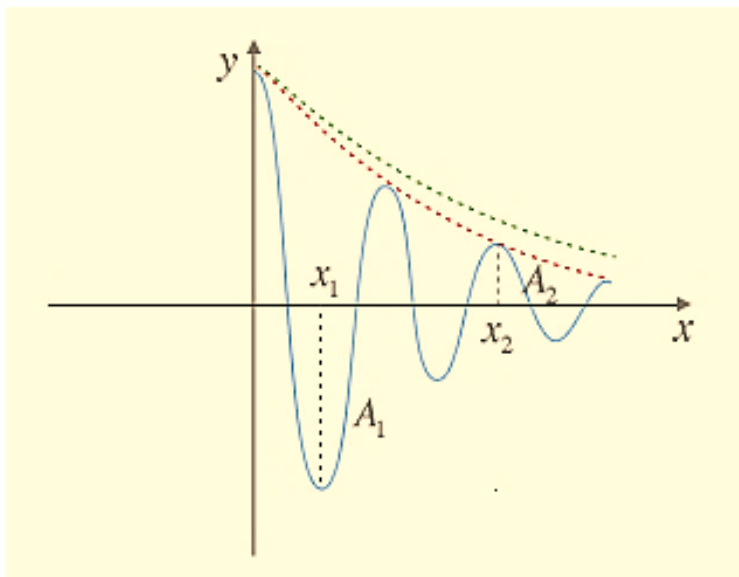


Ilustración 5 Fenómeno de Absorción

Fuente: <https://www.fisicalab.com/apartado/amortiguacion>

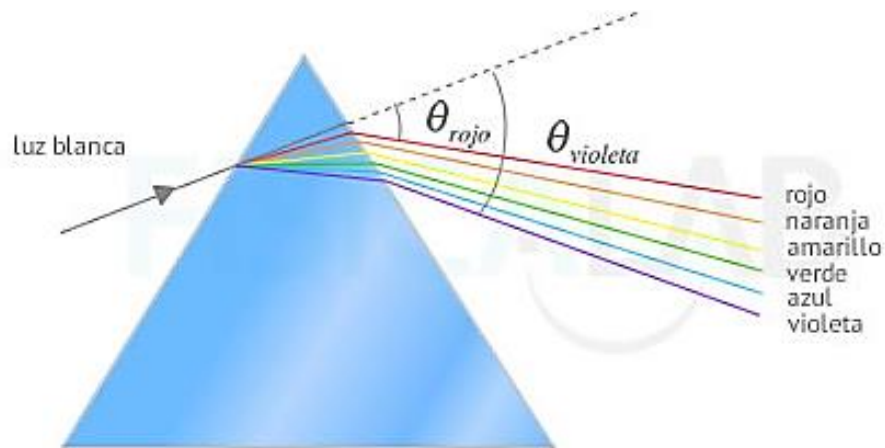


Ilustración 6 Fenómeno de Dispersión

Prisma de Newton

Al incidir luz blanca sobre el prisma, las longitudes de onda más cortas (el violeta) se desviarán más que las largas (el rojo).

Fuente: <https://www.fisicalab.com/apartado/dispersion-luz>

1.10 Relación señal ruido (SNR)

La relación señal-ruido con sus siglas en inglés SNR (Signal to Noise Ratio) es la proporción existente entre la potencia de la señal que se transmite y la potencia del ruido que la corrompe. Este margen es medido en decibelios (dBm). (XI-Cuatrimestre, 2017)

1.11 Diseño de un Radioenlace.

Los radios enlaces de microondas se realizan sólo si existe una vista del receptor (LOS, Line Of Sight), proveen conectividad de una manera sencilla y práctica entre dos o más sitios. La línea de visión (LOS) implica que la antena en un extremo del radio enlace debe poder “ver” la antena del otro extremo.

- El diseño de un radio enlace de microondas LOS involucra cuatro pasos básicos:
- Elección del sitio de instalación.
- Relevamiento del perfil del terreno y cálculo de la altura del mástil para la antena.

- Cálculo completo del radio enlace, estudio de la trayectoria del mismo y los efectos a los que se encuentra expuesto.
- Prueba posterior a la instalación del radio enlace, y su posterior puesta en servicio con tráfico real. (Ruesca, 2016)

1.12 Diseño Básico de un Radioenlace

- El radioenlace está conformado por los siguientes elementos:
- La fuente de poder
- La línea de transmisión (Cable Ethernet)
- Radio de transmisión
- Propagación en el espacio libre
- Radio receptor
- Punto de acceso (Router o Switch)

El radio de transmisión es alimentado por la fuente de poder, la línea de transmisión será el cable Ethernet, dando lugar al radio de transmisión que generara la onda de radio que se propagaran en el espacio libre. La señal propagada será captada por nuestro radio receptor el cual esta llevará los recursos de nuestro enlace al punto de acceso que será un (Router o Switch.)



Ilustración 7Diseño básico de un radioenlace

Fuente: <https://clasipar.paraquay.com/servicios/oficios-tecnicos-profesionales/internet-punto-a-punto-796363>

1.13 Definiciones de las unidades Logarítmicas que se emplean en un radio enlace

1.13.1 Vatio

El vatio o Watt (W), es la unidad de potencia activa del sistema internacional de unidades. Es la potencia eléctrica producida por una diferencia de potencial de 1 voltio y una corriente eléctrica de 1 amperio (1VA).

1.13.2 Decibel (dB)

Es una unidad de medida ampliamente usada en sistemas de transmisiones, el decibel es una unidad relativa de una señal como la potencia, el voltaje, ganancia, etc.

1.13.3 Decibelio mili vatio (dBm)

El dBm es la unidad logarítmica a la potencia de 1 mili vatio, ésta mide la potencia absoluta. Esta unidad de potencia será positivo con valores superiores a 1 mili vatio y negativo para valores inferiores.

1.13.4 Decibelio Isotrópico(dBi)

Es la unidad para expresar la ganancia de una antena en comparación con una antena teórica isotrópica.

1.13.5 Decibelio dipolo (dBd)

Es la unidad de ganancia de una antena en comparación con una antena dipolo a la misma frecuencia.

1.13.6 Decibel relativo (dBr)

Esta unidad se utiliza para caracterizar niveles relativos, es decir para expresar las relaciones de nivel para las señales entre puntos en un trayecto de señal, con el convenio de que uno de los puntos se designa como punto de referencia de nivel con el nivel relativo 0 dBr.

El concepto de nivel relativo es muy práctico para los aspectos de transmisión de las telecomunicaciones de varias maneras. Es un método para adaptar la capacidad de tratamiento de la potencia del equipo de transmisión en una conexión a los niveles de las señales reales en la red. La pérdida y la ganancia en la red pueden

especificarse por medio de niveles relativos, además pueden utilizarse niveles relativos para caracterizar parámetros de ciertos componentes de un equipo.

(Freeman, 1998)

Capítulo II

2 Conceptos Básicos de propagación

2.1 Modelo de Propagación

Un modelo de propagación es un conjunto de expresiones matemáticas, diagramas y algoritmos usados para representar las características de radio de un ambiente dado. Los modelos de propagación predicen la pérdida por trayectoria que una señal de RF pueda tener entre un Transmisor (T_x) y un Receptor (R_x).

El objetivo de utilizar y aplicar los modelos de propagación es conocer la viabilidad del enlace, de esta manera se podrá hacer una estimación de las especificaciones técnicas y capacidad de los equipos requeridos tomando en cuenta sus costos. (López Bonilla, 2017)

2.2 Propagación en el espacio libre

En el espacio libre la propagación estará representada por trayectorias rectas. Cuando está presente una superficie reflectora, como podría ser la superficie terrestre, una segunda trayectoria puede existir para representar la energía electromagnética reflejada por el terreno. Al momento de realizar un radioenlace en el espacio libre quiere decir que éste tiene que estar libre de obstrucciones. (Albornoz, 2007)

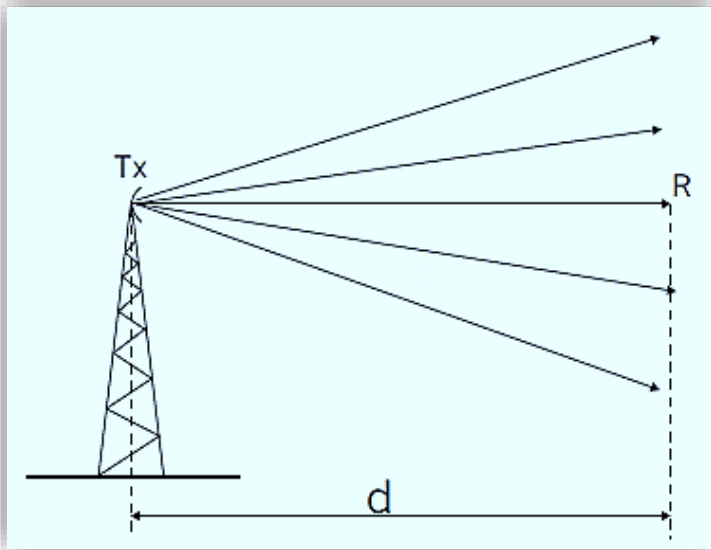


Ilustración 8 Trayectorias en el espacio libre

En los enlaces con línea de vista, la onda electromagnética viaja directamente sin obstáculos entre el Tx y el Rx, dando lugar a un enlace óptimo y de calidad. En la siguiente figura se presenta la línea de vista entre la Gruta Xavier a Ciudad el Doral.

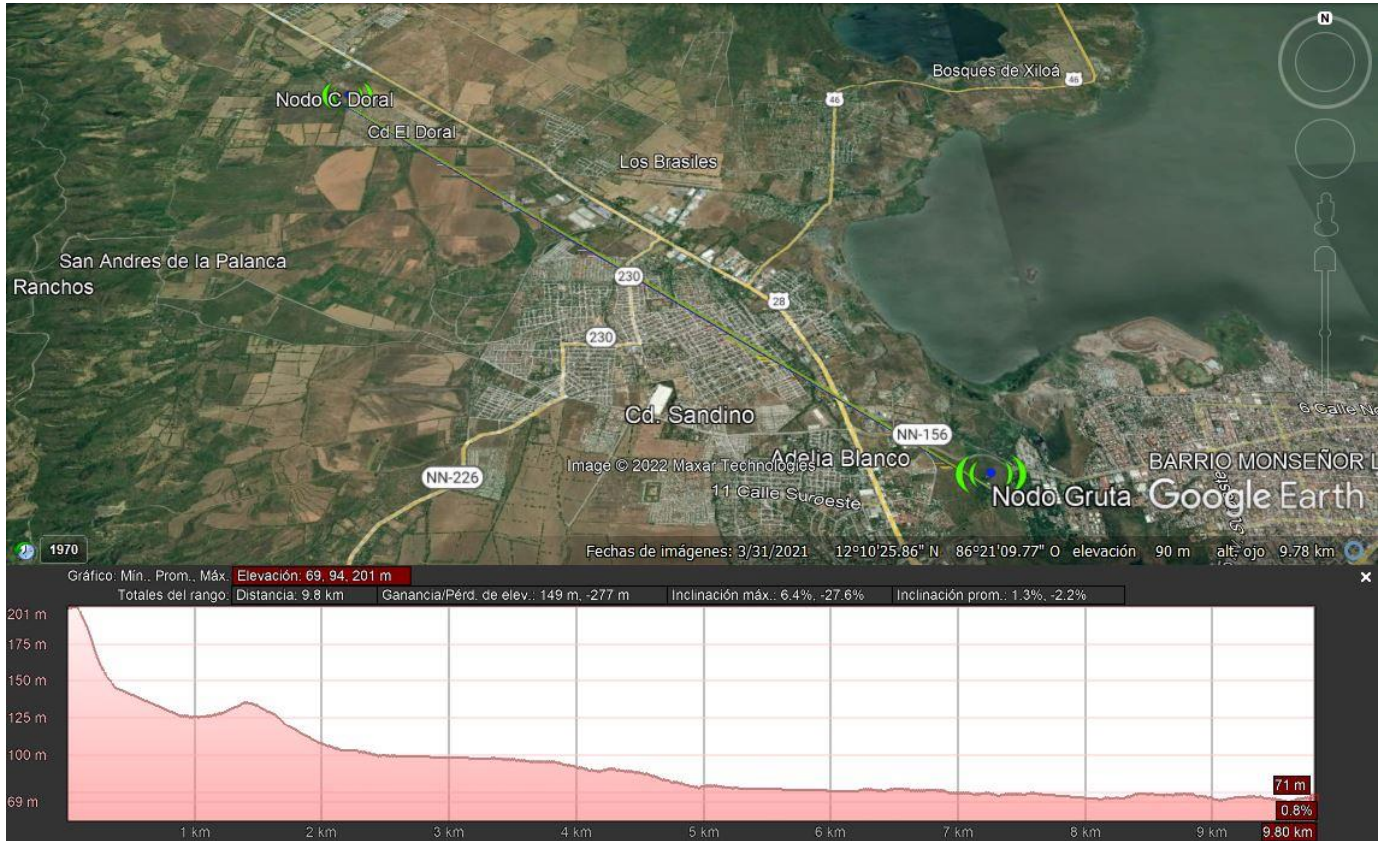


Ilustración 9 Línea de Vista de Gruta Xavier a Ciudad El Doral

Fuente: Google Earth

El análisis del enlace de acuerdo al software Google Earth se encuentra en línea de vista plena, al estar libre de obstáculos y vegetación se puede calcular la primera zona de Fresnel donde por lo menos el 60% debe estar libre de obstrucciones.

2.3 Zona de Fresnel

La teoría de trayectoria de Huygens – Fresnel establece 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, principio que se establece normalmente en las ondas microondas.

Las ondas de la antena emisora llegarán a la receptora por otros caminos además de la línea recta o línea de vista, esto ocurre por los fenómenos meteorológicos causando un ángulo fuera de fase en las ondas, pudiendo originar una interferencia destructiva que cause una reducción de la potencia de la señal o cancelación por fase. Se define como zona de Fresnel al espacio entre emisor y 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 conoce como la primera zona de Fresnel.

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

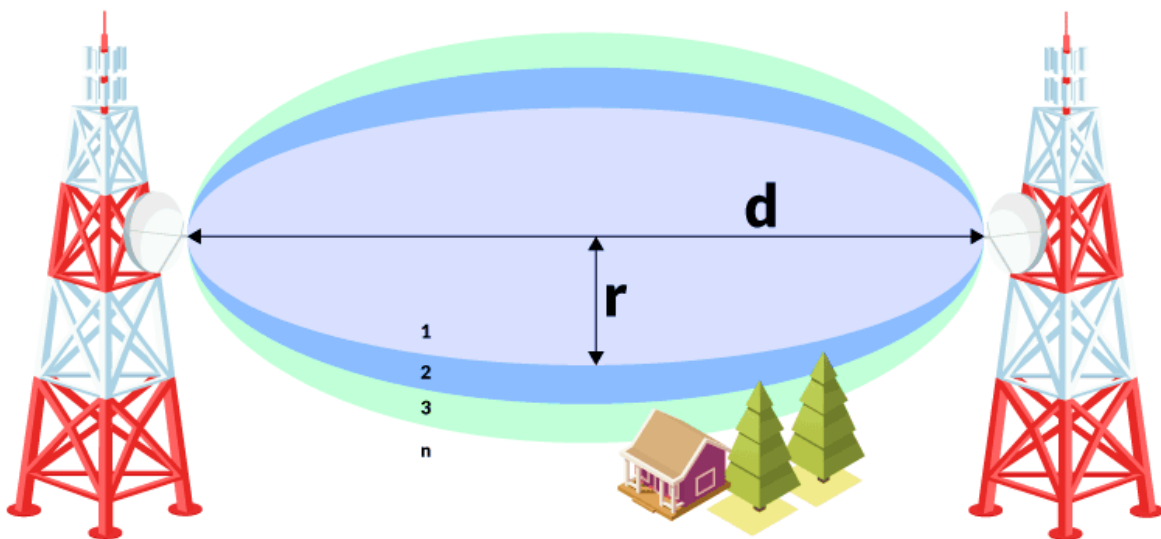


Ilustración 10 Zonas de Fresnel

- 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....

La zona de Fresnel se calcula con la siguiente fórmula:

$$F_n = \sqrt{\frac{n\lambda d_1 d_2}{d_1 + d_2}}$$

Donde:

- n : es el número de zona: 1, 2, 3...
- λ : es la longitud de onda de la señal emitida.
- 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.

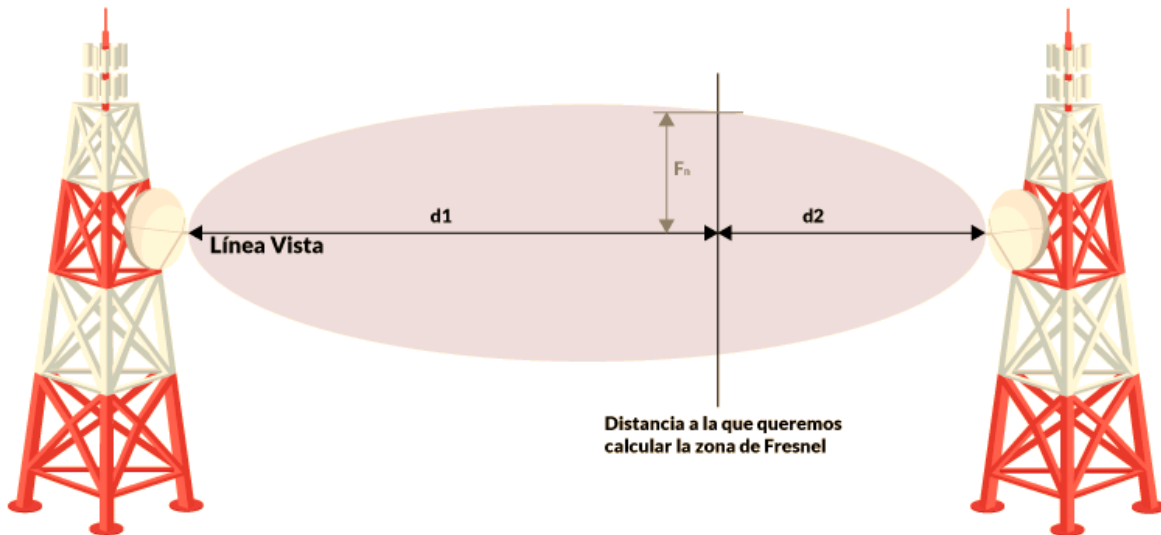


Ilustración 11 Distancia para el cálculo de la Zona de Fresnel

En la práctica, es muy habitual calcular el máximo radio en metros de la primera zona de Fresnel o haz radioeléctrico. Este valor tiene lugar en el centro del radioenlace. En este punto, d_1 es igual a d_2 , y la fórmula nos quedaría de esta manera:

$$F_1[m] = 8.656 \sqrt{\frac{D[km]}{f[GHz]}}$$

Donde:

- **D**: es la distancia en km entre antenas.
- **f**: es la frecuencia en GHz de la señal transmitida.

2.3.1 Curvatura de la Tierra

Cuando se habla de obstáculos se piensa en objetos, pero hay otro factor importante que también puede producir problemas, como es la **Tierra**.

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

- Aumentando la altura de los obstáculos intermedios.
- Curvando el haz electromagnético como consecuencia de la fracción troposférica.
- Convirtiéndose así misma en un obstáculo.

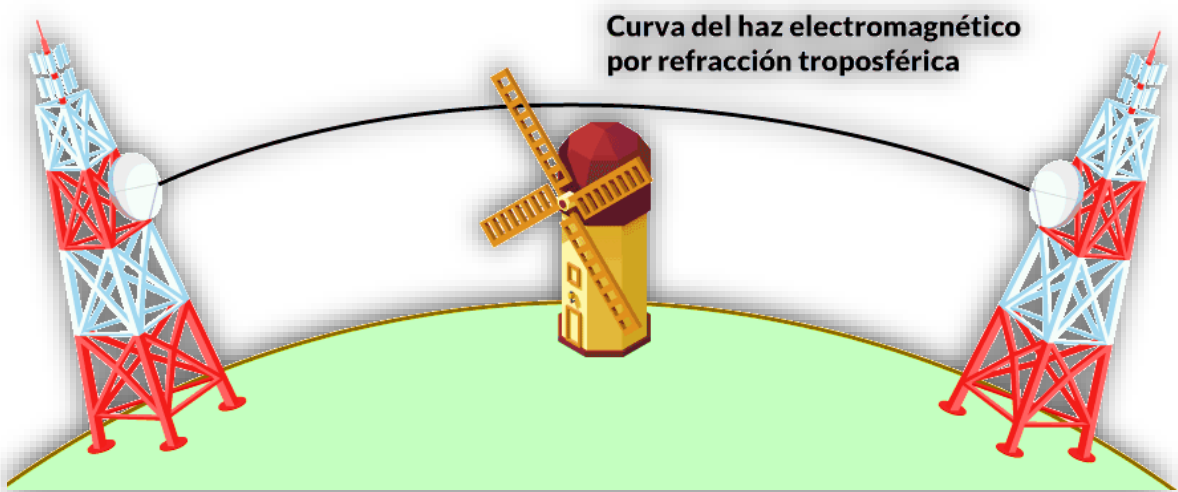


Ilustración 12 Curvatura de la Tierra

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

$$f = \frac{d_1 d_2}{2ka}$$

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, normalmente $\frac{4}{3}$
- a : es el radio de la tierra (6370 km)
(Martínez, 2018)

2.4 Modelo de Propagación por Desvanecimiento.

El principal problema con la recepción de señales inalámbricas es el desvanecimiento causado por la propagación multitrayectoria y los obstáculos, esto hace que la calidad del enlace varíe. Como resultado de la propagación multitrayectoria, hay muchas señales reflejadas que llegan al receptor a diferentes tiempos. Las señales retrasadas son el resultado de reflexiones por las características del terreno tales como los árboles, colinas u objetos tales como personas, vehículos o edificios. La unión de estos inconvenientes, influye en que las señales pueden sobrellevar desvanecimiento.

Actualmente existen diferentes técnicas para contrarrestar el desvanecimiento, como los sistemas MIMO (Múltiple entrada Múltiple salida) OFDM, los sistemas de diversidad de frecuencia OFDM, el sistema de espectro ensanchado multiportadora de acceso múltiple y el sistema de entrelazado ensanchado OFDM, respectivamente.

2.4.1 Propagación Multitrayectoria.

Cuando una señal de comunicación es transmitida a través del aire hasta un receptor la señal tomará diferentes caminos antes de que llegue a dicho receptor, esto puede hacer que exista un retraso de propagación mayor que el periodo del símbolo y se produzca el llamado desvanecimiento selectivo en frecuencia. El desvanecimiento selectivo en frecuencia es una anomalía de propagación de radio causada por la cancelación parcial de una sola señal. Si los componentes

espectrales de las señales transmitidas son afectados por diferentes amplitudes y cambios de fase, se dice que el desvanecimiento es de frecuencia selectiva.

(Hernández, 2010)

2.4.2 Pérdidas por trayectoria en el espacio libre

La pérdida en trayectoria por el espacio libre se suele definir como la pérdida sufrida por una onda electromagnética al propagarse en línea recta por un vacío, sin absorción ni reflexión de energía en objetos cercanos.

La ecuación cuando la frecuencia se expresa en MHz y la distancia en Km es la siguiente:

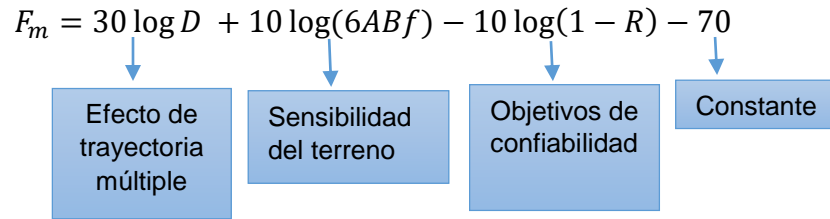
$$L_{p(dB)} = 32.4 + 20 \log f_{(MHz)} + 20 \log D_{Km}$$

(Tomasi, 2013)

2.5 Margen de desvanecimiento.

Al propagarse una onda electromagnética la señal tiene pérdidas intermitentes de intensidad, además de la pérdida normal en trayectoria. Estas pérdidas se pueden atribuir a diversos fenómenos, que incluyen efectos de corto y largo plazo. Esta variación de pérdida de señal es denominada desvanecimiento. En la propagación de ondas para tener en cuenta el desvanecimiento temporal, se agrega una pérdida adicional de transmisión a la pérdida en trayectoria normal, a esta pérdida se le llama Margen de Desvanecimiento.

En esencia, el margen de desvanecimiento es un factor espurio que se incluye en la ecuación de ganancia del sistema para considerar las características no ideales y menos predecibles de la propagación de las ondas de radio, como por ejemplo la propagación por trayectorias múltiples y la sensibilidad del terreno. El margen de desvanecimiento también tiene en cuenta los objetivos de confiabilidad del sistema, así el margen de desvanecimiento se incluye en la ecuación de ganancia de un sistema como una pérdida:



Siendo:

- F_m : margen de desvanecimiento (decibeles)
 - D : distancia (kilómetros)
 - f : frecuencia (gigahertz)
 - R : confiabilidad en tanto por uno (es decir, 99.99%=0.9999 de confiabilidad)
 - $1 - R$: objetivo de confiabilidad para una ruta de 400km en un sentido
 - A : factor de rugosidad
 - : 4 sobre agua o sobre un terreno muy liso
 - : 1 sobre un terreno promedio
 - : 0.25 sobre un terreno muy áspero y montañoso
 - B : factor para convertir la peor probabilidad mensual en una probabilidad anual.
 - : 1 para pasar una disponibilidad anual a la peor base mensual
 - : 0.5 para áreas calientes y húmedas
 - : 0.25 para áreas continentales promedio
 - : 0.125 para áreas muy secas o montañosas.
- (Tomasi, 2013)

2.6 Confiabilidad del enlace

La confiabilidad es la cantidad de tiempo que se prevé que un enlace estará por encima de un umbral determinado (Margen de Desvanecimiento), por lo general se expresa como un porcentaje de 1 año. Para calcular la confiabilidad e indisponibilidad del enlace se usará el modelo de Vigants-Barnett.

La indisponibilidad es igual a:

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

La confiabilidad es igual:

$$R = (100 - P) \times 100\%$$

- MD: margen de desvanecimiento (decibeles)
 - D : distancia (km)
 - f : frecuencia (mega Hertz)
 - a : factor de rugosidad
 - : 4 sobre agua o sobre un terreno muy liso
 - : 1 sobre un terreno promedio
 - : 0.25 sobre un terreno muy áspero y montañoso
 - B : factor climático
 - : 0.5 para áreas calientes y húmedas
 - : 0.25 para áreas continentales promedio
 - : 0.125 para áreas muy secas o montañosas.
- (Network, 2022)

2.7 Antenas

Una antena es un sistema conductor metálico capaz de radiar y capturar ondas electromagnéticas. Las antenas son para conectar las líneas de transmisión con el espacio libre, el espacio libre a líneas de transmisión, o ambas cosas. En esencia, una línea de transmisión acopla la energía de un transmisor o de un receptor con una antena, que a su vez acopla la energía de la atmósfera terrestre, y de la atmósfera terrestre a una línea de transmisión.

2.7.1 Diagrama de radiación

Un diagrama de radiación es un diagrama o gráfica polar que representa intensidades de campo o densidades de potencia en diversas posiciones angulares en relación con una antena. Las gráficas de radiación de la figura que se muestra a continuación se representa en forma bidimensional, pero en realidad la radiación es tridimensional. En consecuencia, las gráficas de radiación se toman tanto en el plano horizontal (vista superior) como los verticales (vista lateral).

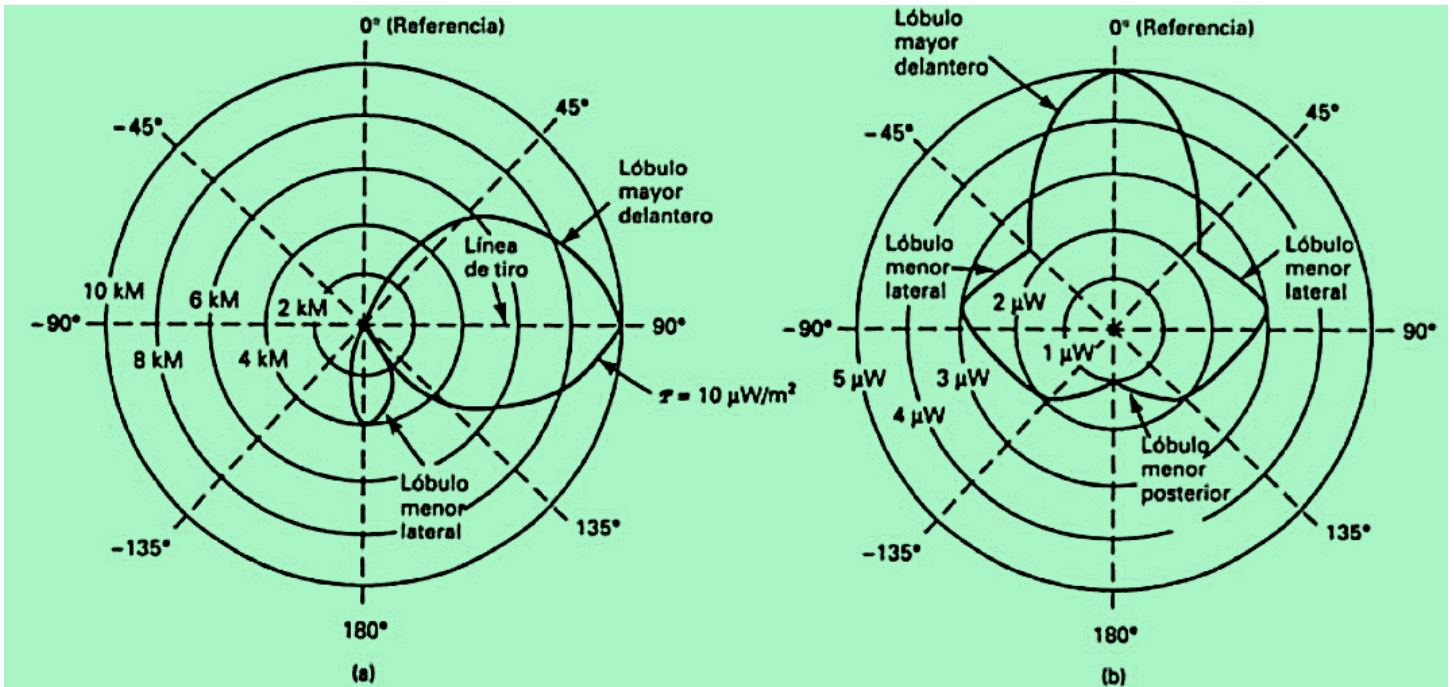


Ilustración 13 Gráfica de radiación absoluta "distribución fija" (a), Gráfica de radiación relativa "distancia fija" (b)

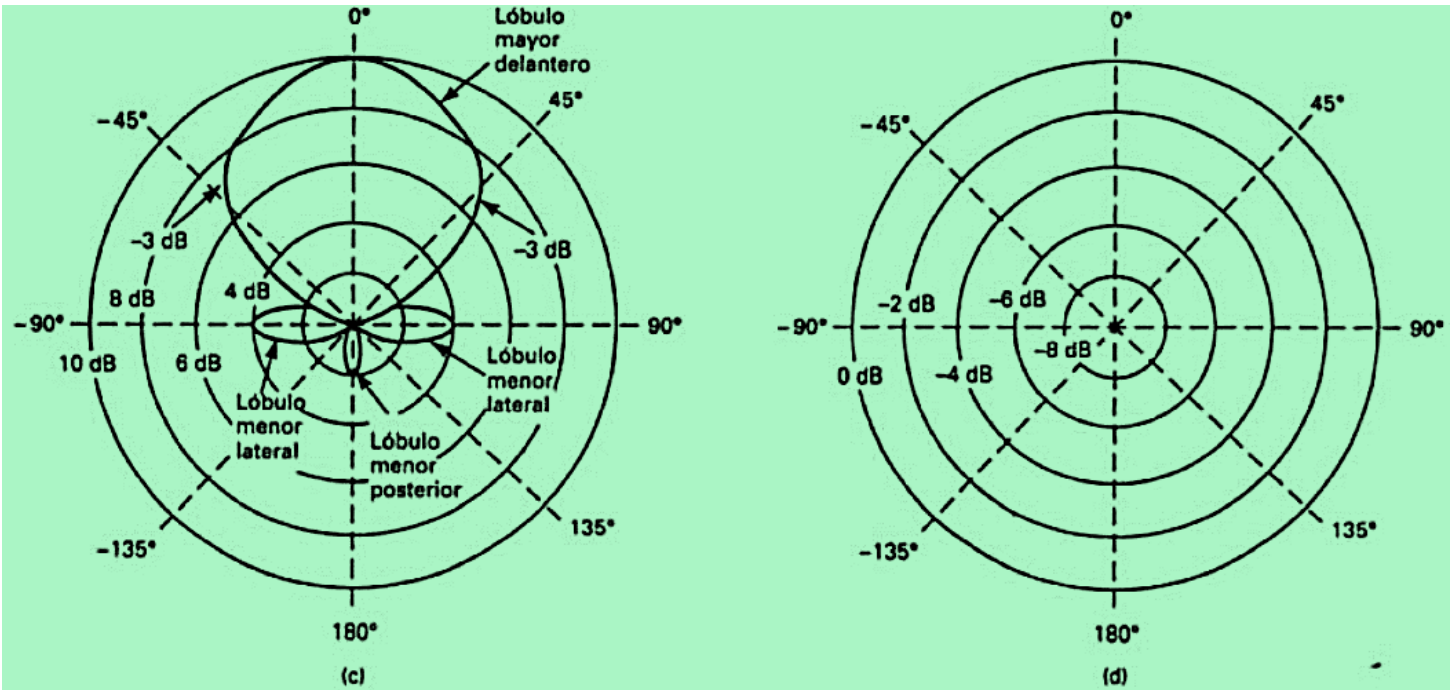


Ilustración 14 Gráfica de radiación relativa, "distancia fija" en decibelios (c), Gráfica de radiación relativa, "distancia fija" en decibelios para una antena direccional, "fuente puntual" (d)

(Tomasi, 2013)

2.8 Ancho de banda

El ancho de banda de una antena se define como el intervalo de frecuencias en el cuál ésta opera satisfactoriamente, manteniendo sus características eléctricas dentro de las especificaciones. Dichas características dependen esencialmente de la impedancia de la antena y del patrón de radiación. (Albornoz, 2007)

2.9 Potencia isotrópica efectiva irradiada

EIRP por sus siglas en inglés (Effective isotropic radiated power) se define como la potencia equivalente de transmisión

$$EIRP = PIRE(\text{Potencia Irradiada Isotrópica Efectiva})$$

Y se expresa como:

$$PIRE_{(dBm)} = \text{potencia Tx (dBm)} - \text{pérdidas en cable y conectores (dB)} \\ + \text{ganancia de antena(dBi)}$$

La EIRP es la potencia equivalente que tendría que irradiar una antena isotrópica para alcanzar la misma densidad de potencia en la dirección elegida y en determinado punto, que otra antena. (Buettrich, 2006)

2.10 Bit Error Rate (BER)

En una transmisión de datos digitales en telecomunicaciones, el BER es la cantidad de bits recibidos con errores dividida por la cantidad total de bits recibidos, durante un período de tiempo dado. El BER es un parámetro clave usado para evaluar los sistemas que transmiten datos de un lugar a otro. Los sistemas en los cuales el BER es aplicable incluyen enlaces de datos por radio o por fibra óptica, Ethernet o cualquier sistema que transmita datos sobre una red; cuando el ruido, las interferencias y fluctuaciones de fase pudieran provocar una degradación de la señal digital. (Andreotti, 2015)

Capítulo III

3. Diseño de un sistema de radio comunicación punto a punto utilizando Equipos Radwin 2000+D como enlace troncal para brindar servicio de internet vía radio enlace punto multipunto a Ciudad el Doral con equipos Airmax de Ubiquiti AC.

3.1 Aspectos legales para la realización del radioenlace

La “LEY GENERAL DE TELECOMUNICACIONES Y SERVICIOS POSTALES” LEY N°.200, aprobada el 21 de julio de 1995, Publicada en la Gaceta, Diario Oficial N°. 154 de 18 de agosto de 1995. Tiene por objeto la regulación de los servicios de telecomunicaciones y servicios postales, y establecer los derechos y deberes de los usuarios y de las operaciones, en condiciones de calidad, equidad, seguridad, y el desarrollo planificado y sostenido de las telecomunicaciones y servicios postales.

Según el artículo 8. Los servicios de telecomunicaciones se clasifican en: servicios públicos, servicios de interés general, servicios de interés especial, servicios de interés particular y servicios no regulados. El artículo 10. hace referencia a que los servicios de interés general son aquellos que, sin ser servicios públicos esenciales, son ofrecidos al público, bajo esquema tarifario aprobado por TELCOR o se les puede permitir libertad en la contratación con usuarios. En cualquier caso, deben ser ofrecidos en condiciones de igualdad, regularidad y continuidad. (Nicaragua, 1995)

Esto quiere decir que al usar las bandas de frecuencia de 5 GHz para la realización del enlace se tiene total libertad para su uso sin la necesidad de un permiso o licencia asignada por TELCOR, ya que entra en el margen de bandas comerciales o bandas libres.

3.2 Equipos de Radio

Para el enlace troncal se utilizarán los radios del portafolio Radwin, de la serie 2000 D-Plus, que ira desde la Gruta Xavier hasta el Residencial Ciudad el Doral.



Ilustración 15 Radwin 2000+D (Front)

Fuente: <https://www.radwin.com/ptp-radwin-2000/>

El radio es de alta capacidad y largo alcance, ofrece alto rendimiento incluso en espectro altamente congestionado, trabaja en el rango de frecuencia de 5.4 a 5.8 GHz, se implementa en topologías PTP y PTMP cumpliendo los requerimientos con este sistema de simulación.



Ilustración 16 Radwin 2000+D (Back)

Fuente: <https://www.radwin.com/ptp-radwin-2000/>

Especificaciones del radio

Configuration					
Architecture	Outdoor Unit with an integrated antenna				
PoE to ODU Interface	Outdoor CAT-5e; Maximum cable length: 100m for 10/100BaseT and 75m for 1000BaseT				
Radio					
Max Capacity	750 Mbps net aggregate throughput				
Range	Up to 40 km / 25 miles				
Channel Bandwidth	Configurable: 10, 20, 40, 80 MHz (for the default band)				
Modulation	MIMO-OFDM (BPSK/QPSK/16QAM/64QAM/256QAM)				
Adaptive Modulation, Coding & Channel BW	Supported				
Automatic Channel Selection	Supported upon power up				
DFS	Supported (ETSI)				
Diversity	Supported				
Spectrum Viewer	Supported				
Max Tx Power	25 dBm; max EIRP 30 dBm (for the default band)				
Duplex Technology	TDD				
Error Correction	FEC k = 1/2, 2/3, 3/4, 5/6				
Encryption	AES 128; FIPS 197				
Support Indoor units	RADWIN PoE devices (RW-9921-101X)				
Uplink / Downlink Allocation	Configurable: Symmetric or Asymmetric				
QoS	Packet classification to 4 priority queues according to 802.1P or Diffserv				
VLAN Support	802.1Q, QinQ, 4094 VLANs				
TDD Intra Site Synchronization	Supported				
TDD Inter Site Synchronization	Supported through common GPS receiver per site				
Supported Bands					
Band	CBW 10MHz [GHz]	CBW 20MHz [GHz]	CBW 40MHz [GHz]	CBW 80MHz [GHz]	Radio Compliance
5.4 GHz ETSI (default)	5.475-5.705	5.470-5.710	5.490-5.690	5.490-5.650	EN 301 893
5.8 GHz ETSI	5.735-5.865	5.735-5.865	-	-	EN 302 502

Ilustración 17 Especificaciones Técnicas

Integrated Antenna	
Gain	23 dBi
VSWR	1.5 :1 (typ)
3 dB Azimuth Beamwidth	10 Deg. (typ)
Polarization	Dual Linear (Vertical and Horizontal)
Sidelobes Level	ESTI EN 302 326-3 V1.1.2 DN3
Cross Polarization	ESTI EN 302 326-3 V1.1.2 DN3
F/B Ratio	-30 dB
Port To Port Isolation	30 dB (max)
Lightning Protection	DC Grounded

Ilustración 18 Especificaciones Técnicas

Fuente: <https://www.netiletisim.net/en/products/radwin/radwin-2000-d-plus-odu-5ghz#!>

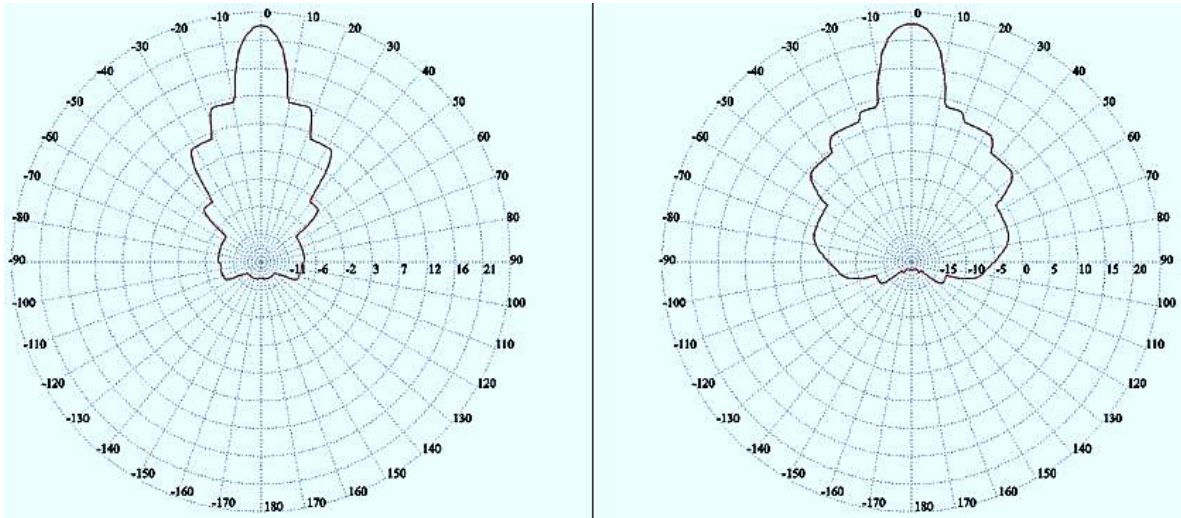


Ilustración 19 Patrón de radiación

Fuente: <https://www.netiletisim.net/en/products/radwin/radwin-2000-d-plus-odu-5ghz#!>

Para el enlace PTMP se usarán los equipos siguientes:

- Antena sectorial AirPrism de 90° de tecnología UBIQUITI AC

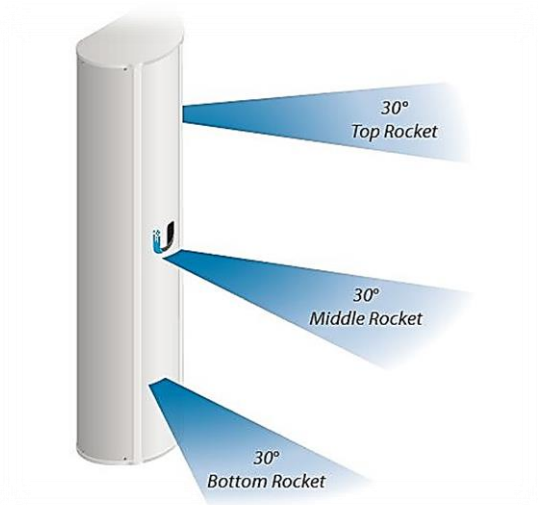


Figure 1 Antena sectorial 90°

Fuente: https://wni.mx/index.php?page=shop.product_details&flvpage=flvpage_new.tpl&product_id=747&category_id=11&keyword=airmax+antena+sectorial&option=com_virtuemart&Itemid=53



Figure 2 Antena sectorial 90°

Fuente: https://wni.mx/index.php?page=shop.product_details&flypage=flypage_new.tpl&product_id=747&category_id=11&keyword=airmax+antena+sectorial&option=com_virtuemart&Itemid=53

El equipo que se conecta a la antena sectorial AirPrism de 90° es el Rocket 5AC Prism



Figure 3 Rocket 5AC Prism

Fuente: <https://www.wificanarias.com/shop/airmax-ac/483-ubiquiti-networks-ubiquiti-r5ac-prism-5-ghz-rocket-ac-prism.html>

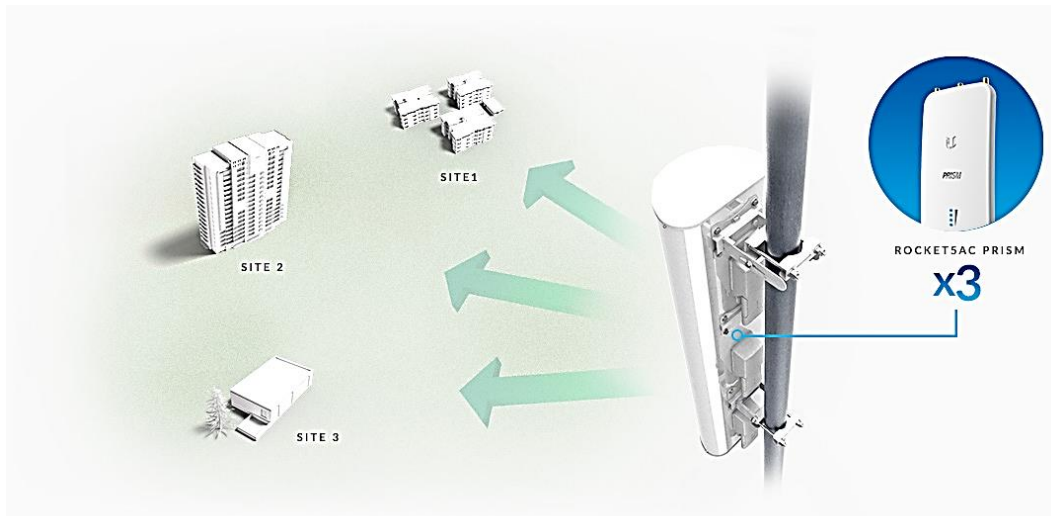


Figure 4 Rocket 5AC Prism

Fuente: <https://www.wificanarias.com/shop/airmax-ac/483-ubiquiti-networks-ubiquiti-r5ac-prism-5-ghz-rocket-ac-prism.html>

El equipo que se conectará donde los clientes es el PowerBeam 5AC



Figure 6 PowerBeam 5AC



Figure 5 PowerBeam 5AC

Fuente: <https://www.wificanarias.com/shop/airmax-ac/332-ubiquiti-powerbeam-80211ac-5ghz-parabola-500-mm.html>

El Switch que se usará para el Backbone y para la antena sectorial es el Switch Edge Point S16



Figure 7 Switch Edge Point S16

Fuente: <https://www.wificanarias.com/shop/airmax-ac/332-ubiquiti-powerbeam-80211ac-5ghz-parabola-500-mm-.html>

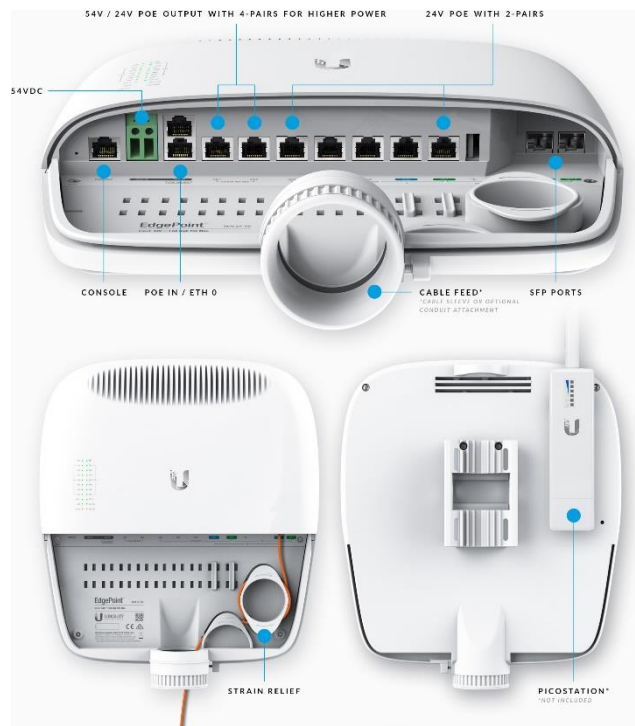


Figure 8 Switch Edge Point S16

Fuente: <https://www.wificanarias.com/shop/airmax-ac/332-ubiquiti-powerbeam-80211ac-5ghz-parabola-500-mm-.html>

3.3 Conexiones físicas de los radios Radwin

El radio Radwin estará ubicado en la parte más alta de la torre, aunque haya línea de vista hay que tener en cuenta los fenómenos atmosféricos, por lo tanto, se recomienda evitar cualquier posible obstrucción que encuentre en su trayectoria. El equipo está diseñado para trabajar en condiciones desafiantes, de esta manera es un equipo que se instala en exteriores, posee un alcance de 40km brindando de 10 Mbps a 750 Mbps de rendimiento ethernet (Throughput).



Ilustración 20 Conexión ODU-IDU

Fuente:

<https://fccid.io/Q3KRW2049/User-Manual/Manual-1450251>

El radio Radwin comprende de una unidad de radio para exteriores (ODU - Outdoor unit), e incorpora el IDU (Unidad de radio para interiores – Indoor unit). Es un conmutador Ethernet con capacidades completas de conmutación de **Capa 2**, (switch Radwin), esta unidad ayuda a eliminar la necesidad de equipos de terceros adicionales. Una vez fijado en la torre el equipo con su azimut correspondiente, este por normativa deberá usar un cable ethernet categoría -5e 24AWG con conector RJ45 blindado aterrizado a tierra, la longitud máxima entre la unidad ODU e IDU no debe ser mayor a 100 metros (328 ft) de acuerdo a los estándares de **10/100 BaseT**, el cual se conectará a uno de los puertos de la unidad IDU, el puerto debe estar configurado para uso troncal el cual este permitirá a través del enlace pasar el tráfico a las distintas VLAN que se vayan a necesitar según los requerimientos. Este mismo proceso se debe realizar de igual manera en el otro extremo o donde está ubicada la otra torre, en este caso el radio receptor (Slave).

Las empresas de telecomunicaciones, así como los proveedores de servicio de internet, al realizar una instalación de radio enlace primeramente configuran el switch para luego solamente instalar los equipos que se enlazaran, ahorrando de esta manera tiempo y una mejor calidad de trabajo.

3.4 Dispositivo Poe (Power Over Ethernet)

El poe es una unidad muy sencilla, proporciona un servicio Ethernet solamente, y es la fuente de poder de la unidad ODU, como se muestra en la siguiente figura.



Ilustración 21 Fuente de poder Poe

Fuente: <https://www.anvimur.com/gb/radiolinks/292-point-to-point-link-radwin-2000.html>

3.5 Interfaz del radio Radwin

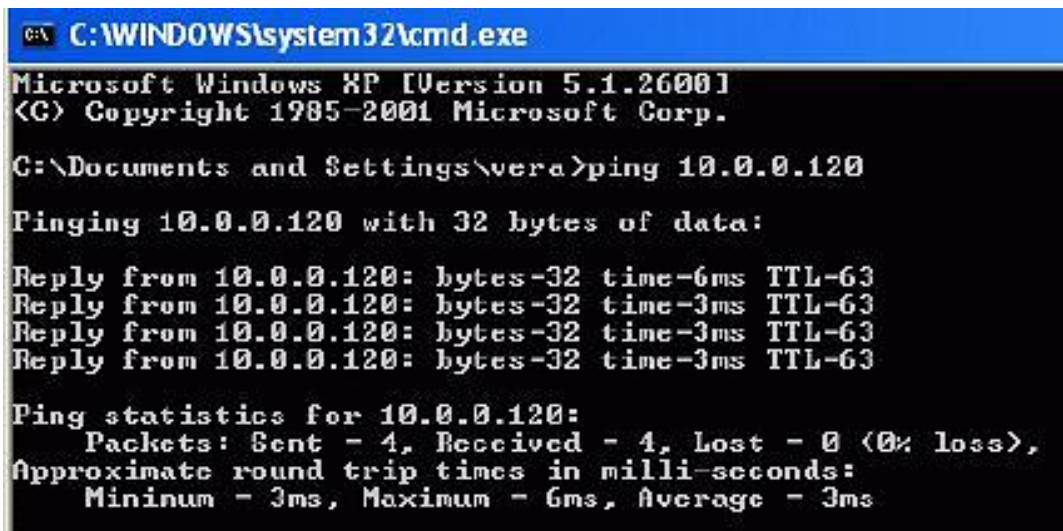
La unidad ODU se administra desde el Radwin manager que es una aplicación SNMP (Simple Network Management Protocol-Protocolo Simple de Administración de Red). El equipo puede ser configurado de forma remota en ambos sitios al mismo tiempo, siempre y cuando se establezca el enlace. Puede estar enlazado con sus direcciones IP de fábrica o con IP asignadas según el segmento que se requiere.

Todos los equipos Radwin vienen por defecto con la dirección IP 10.0.0.120 y máscara de subred 255.0.0.0, como se trata de un sistema de simulación de radio comunicación se podría usar este segmento de direcciones IP para gestionar la red LAN.

3.5.1 Configuración de la unidad ODU

En primer lugar, se cambia la configuración de nuestra tarjeta de red ya que se encuentra en modo DHCP cambiándola a IP estática, como el equipo Radwin trae por defecto sus IP se agregarán las IP asignadas a ese mismo segmento, por ejemplo 10.0.0.122.

Una vez habiendo agregado las IP se ejecuta el cmd o símbolo del sistema y proseguimos a realizar ping a la dirección del equipo para tener respuesta del mismo, como se muestra en la siguiente figura



```
C:\WINDOWS\system32\cmd.exe
Microsoft Windows XP [Version 5.1.2600]
(C) Copyright 1985-2001 Microsoft Corp.

C:\Documents and Settings\vera>ping 10.0.0.120

Pinging 10.0.0.120 with 32 bytes of data:

Reply from 10.0.0.120: bytes=32 time=6ms TTL=63
Reply from 10.0.0.120: bytes=32 time=3ms TTL=63
Reply from 10.0.0.120: bytes=32 time=3ms TTL=63
Reply from 10.0.0.120: bytes=32 time=3ms TTL=63

Ping statistics for 10.0.0.120:
    Packets: Sent = 4, Received = 4, Lost = 0 (0% loss),
    Approximate round trip times in milli-seconds:
        Minimum = 3ms, Maximum = 6ms, Average = 3ms
```

Ilustración 22 Haciendo ping a unidad ODU

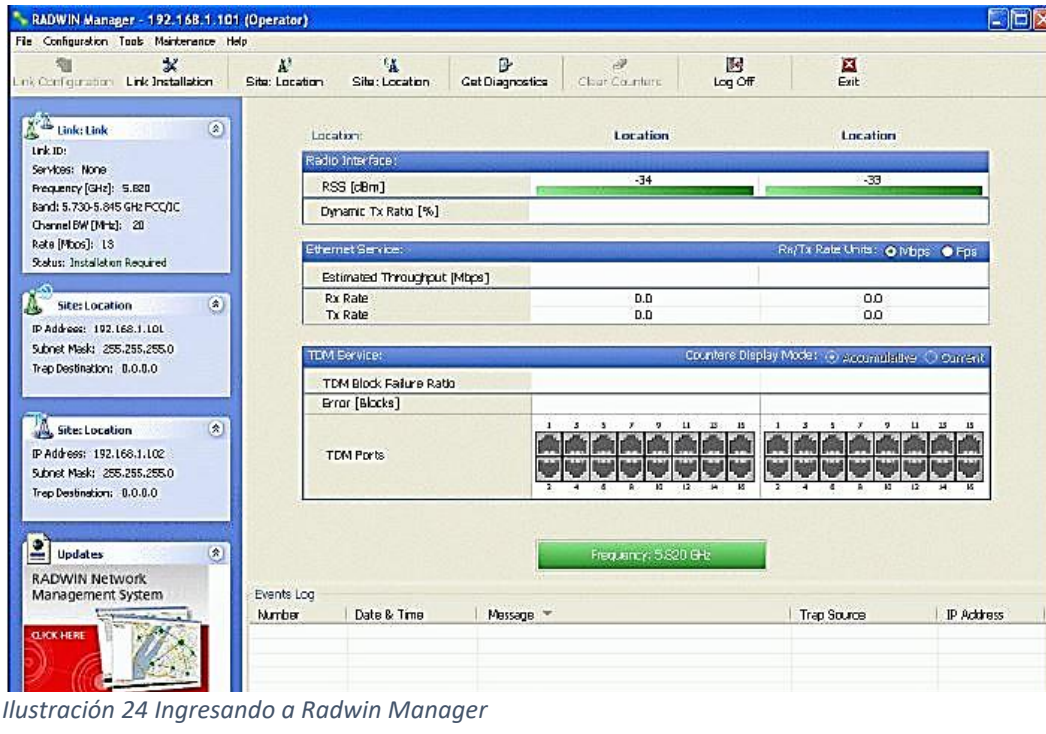
El siguiente paso es abrir el Radwin manager y se agrega la IP de fábrica del equipo (10.0.0.120) seguido de su contraseña que por defecto es Wireless. Debe tenerse conectada la unidad IDU y ODU para tener respuesta de los equipos.



Ilustración 23 Radwin Manager Login

Nota: Existen otras maneras de ingresar al Radwin Manager, pero en este caso se usará la recomendada por el portafolio Radwin.

A este punto la ventana principal del Radwin Manager se mostrará de la siguiente manera



Luego de este proceso se tiene que acceder al Link Installation Wizard y ejecutarlo para poder acceder a los parámetros del radio enlace, como cambio de canal, servicios ethernet, frecuencia a utilizar, etc.



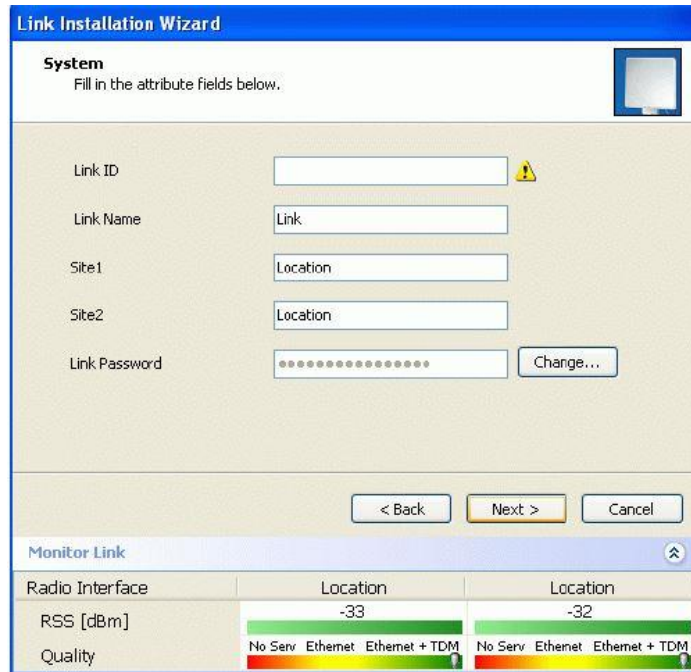


Ilustración 26 Cuadro de Diálogo

Se rellenan los campos en blancos, el Link ID debe ser idéntico en ambos radios de lo contrario no se comunicarán, se ingresa al Link Name para identificación, este por defecto es “Link”.

Se ingresan los nombres para el sitio1 y sitio2, por defecto ambos son “Location”.

Nota: Es opcional querer ingresar un nuevo Link password.

Al dar click en next nos mostrará la siguiente imagen:

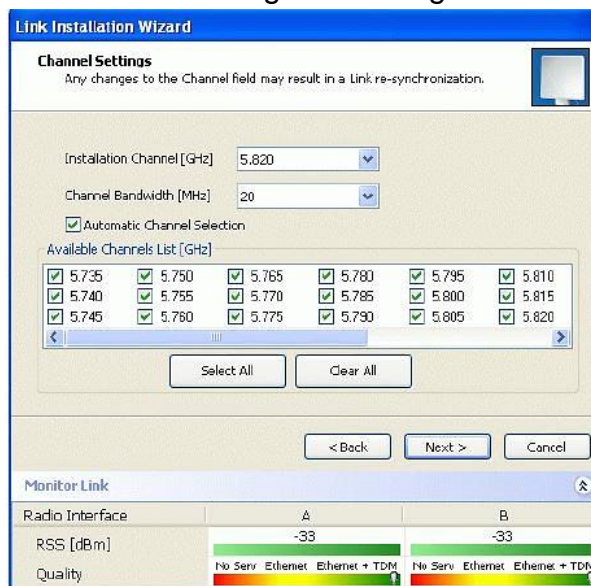


Ilustración 27 Channel Settings - Selección automática de canales

En la ilustración 27 se configura la frecuencia a utilizar, el canal requerido o se marca el canal de selección automática.

La siguiente ventana muestra el parámetro de la antena y el poder de transmisión. Estos parámetros entre el radio y la antena determinan el EIRP (Effective isotropic radiated power) y se ve afectado por consideraciones como limitaciones de radio y restricciones reglamentarias, el cual se hizo mención en el capítulo anterior pág. 27.

The screenshot shows the 'Link Installation Wizard' window. The main section is titled 'Tx Power and Antenna parameters' with the instruction 'Fill the Tx Power and Antenna fields of local and remote sites.' Below this is a table with columns for 'A' and 'B' and rows for 'Antenna Type', 'Antenna Gain [dBi]', 'Tx Power (per radio) [dBm]', 'Tx Power (system) [dBm]', and 'EIRP [dBm]'. Below the table are two 'Configure...' buttons. Underneath is an 'Antenna Configuration' section with a diagram of two antenna towers. At the bottom of the main section are '< Back', 'Next >', and 'Cancel' buttons. A 'Monitor Link' section at the bottom shows a table with columns for 'A' and 'B' and rows for 'Radio Interface', 'RSS [dBm]', and 'Quality'. The 'Quality' row includes a color-coded bar and labels for 'No Serv', 'Ethernet', and 'Ethernet + TDM'.

	A	B
Antenna Type	Undefined	Undefined
Antenna Gain [dBi]	28.5	28.5
Tx Power (per radio) [dBm]	25	25
Tx Power (system) [dBm]	28	28
EIRP [dBm]	56.5	56.5

Radio Interface	A	B
RSS [dBm]	-33	-32
Quality	No Serv Ethernet Ethernet + TDM	No Serv Ethernet Ethernet + TDM

Ilustración 28 Poder de Tx y parámetros de antena.

3.5.2 Configuración Modo MIMO

El sistema MIMO dobla la capacidad del enlace, al mismo tiempo mantiene el mismo alcance y modulación por radio como si fuese usado con una antena, aumentando así la capacidad, el alcance y la disponibilidad. Por ejemplo, con una antena dual Radwin 2000 puede transmitir a una modulación de 64 QAM y FEC de 5/6 y obtiene un alcance de transmisión de 130 Mbps, comparado a 65 Mbps con una sola antena.

La siguiente imagen muestra la selección de tasa de modulación que se encuentra en la pestaña “services configuration”, se puede escoger una específica modulación o uso adaptivo como se muestra a continuación:

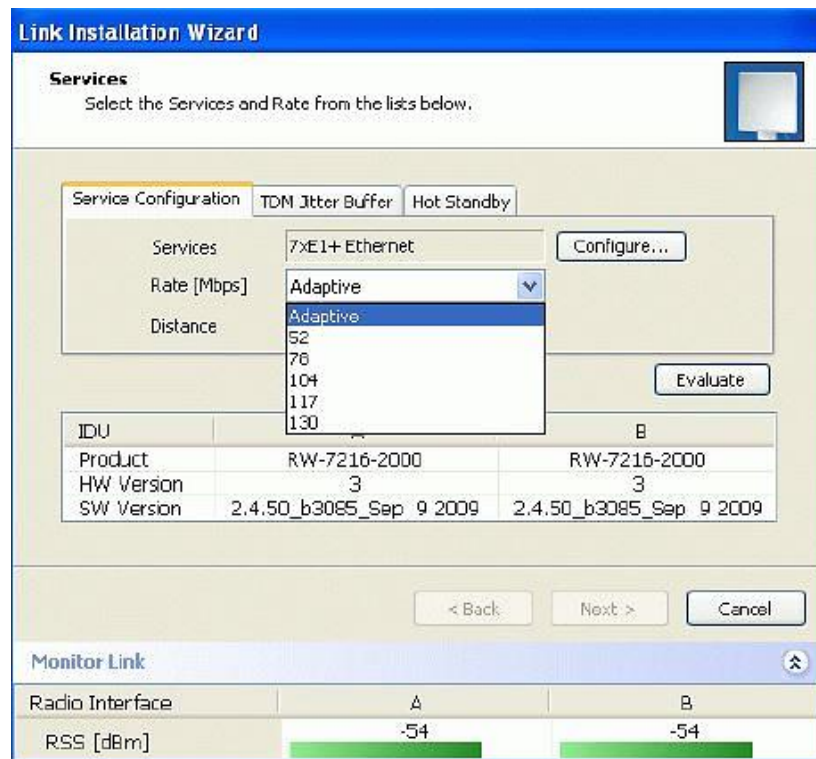


Ilustración 29 Servicios y Tasa de di logo

(Manual, s.f.)

A continuación, se muestra la configuración de un enlace real ubicado de León a Poneoya usando Radwin 2000.

Ingreso de datos en ventana de dialogo

The screenshot shows the 'System' tab of the 'Link Configuration Wizard'. The title bar reads 'Link Configuration Wizard'. Below the title, the text 'System' is followed by the instruction 'Fill in the attribute fields below.' There are five input fields: 'Link ID' with the value 'PONELOYAIBW16062017', 'Link Name' with 'LEON3-PONELOYA', 'Site1' with 'LEON-3', 'Site2' with 'PONELOYA-SBA', and 'Link Password' which is masked with dots and has a 'Change...' button next to it. At the bottom of the main area are three buttons: '< Back', 'Next >', and 'Cancel'. Below this is a 'Monitor Link' section with a refresh icon. It contains a table with two columns for radio interfaces: 'LEON-3' and 'PONELOYA-SBA'. The 'RSS [dBm]' row shows values of -67 and -68 respectively, each with a green progress bar.

Radio Interface	LEON-3	PONELOYA-SBA
RSS [dBm]	-67	-68

Ilustración 30 System_Leon3+Poneloya

Eligiendo frecuencia de operación y canal de banda ancha

The screenshot shows the 'Channel Settings' tab of the 'Link Configuration Wizard'. The title bar reads 'Link Configuration Wizard'. Below the title, the text 'Channel Settings' is followed by the instruction 'Any changes to the Channel field may result in a Link re-synchronization.' There are two dropdown menus: 'Operating Channel [GHz]' set to '4.930' and 'Channel Bandwidth [MHz]' set to '40'. Below these is an unchecked checkbox labeled 'Automatic Channel Selection'. At the bottom of the main area are three buttons: '< Back', 'Next >', and 'Cancel'. Below this is a 'Monitor Link' section with a refresh icon. It contains a table with two columns for radio interfaces: 'LEON-3' and 'PONELOYA-SBA'. The 'RSS [dBm]' row shows values of -67 and -69 respectively, each with a green progress bar.

Radio Interface	LEON-3	PONELOYA-SBA
RSS [dBm]	-67	-69

Ilustración 31 Channel Settings

Parámetro de antena en modulación MIMO


Link Configuration Wizard

Tx Power and Antenna parameters
Fill the Tx Power and Antenna fields of local and remote sites.

	LEON-3	PONELOYA-SBA
Antenna Type	Dual	Dual
Antenna Gain [dBi]	32	32
Tx Power (per radio) [dBm]	18	19
Tx Power (system) [dBm]	21	22
EIRP [dBm]	53	54

Configure... Configure...

Dual Antenna Mode
 MIMO Diversity

Antenna Configuration


< Back Next > Cancel

Monitor Link

Radio Interface	LEON-3	PONELOYA-SBA
RSS [dBm]	-67	-68

Ilustración 32 Parámetros de antena_MIMO mode

En la ventana services se selecciona “tasa adaptiva” y muestra la distancia a la que está el enlace.

Link Configuration Wizard

Services
Select the Services and Rate from the lists below.

Service Ring Ethernet QoS

Services Ethernet Configure...

Rate [Mbps] Adaptive

Distance 13.8 Km / 8.6 Miles

Transmission Ratio

LEON-3 PONELOYA-SBA

0 100%

50.0% / 50.0%

< Back Next > Cancel

Monitor Link

Radio Interface	LEON-3	PONELOYA-SBA
RSS [dBm]	-67	-68

Ilustración 33 Services_Adaptive

Ingresando IP de radio Master

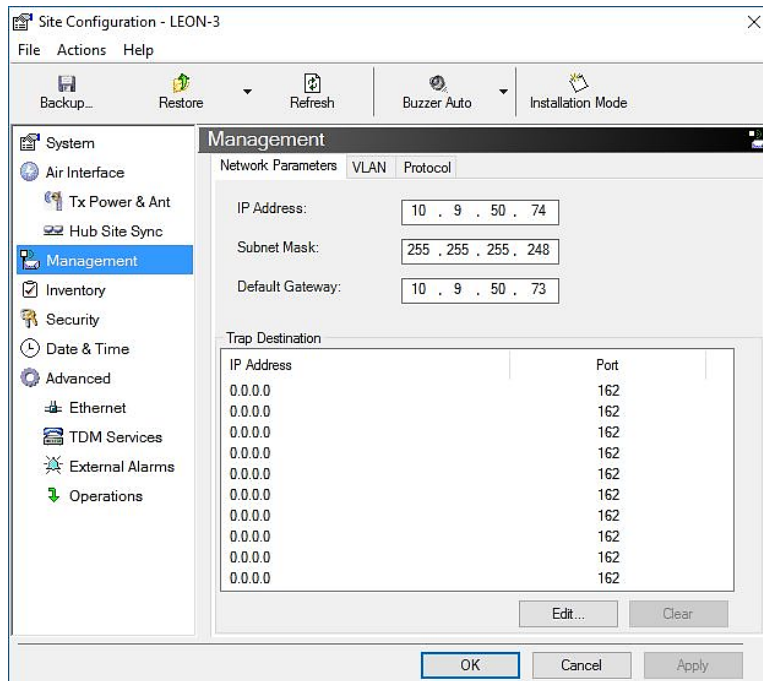


Ilustración 34 Management_ León3

Ingresando IP de radio Slave

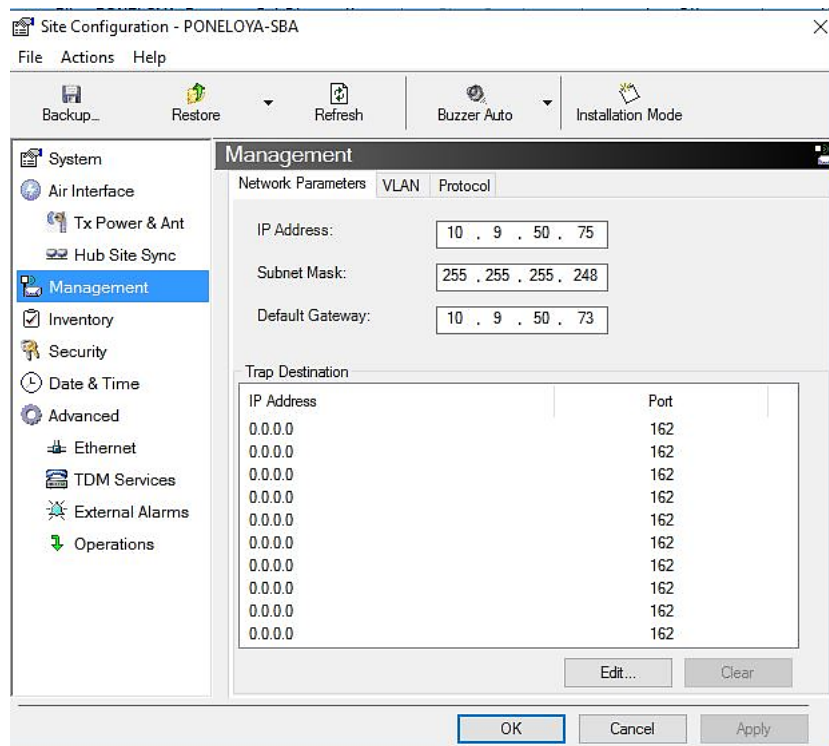


Ilustración 35 Management_Poneloya

La ventana principal del Radwin manager contiene una gran cantidad de información sobre el enlace, muestra tres secciones de los parámetros del enlace. La primera sección muestra el estado del enlace si éste está activo o deshabilitado, la segunda sección nos da información del sitio León-3 como sus IP agregadas y su máscara, la sección tres nos muestra la información del sitio Poneloya.

En la primera sección del Link status se muestra el servicio escogido que en este caso es ethernet y su frecuencia que trabaja en 4 GHz, su banda de frecuencia que va desde 4,880 – 5,020 usando un canal de banda ancha de 40 MHz.

La sección Radio Interface es la fuente principal de información de la calidad del enlace en ambos sitios, muestra el tipo de transmisión, el tipo de servicio, la fuerza de la señal recibida en dBm (RSS), el tráfico ethernet estimado, el actual ancho de banda ethernet disponible en ambos radios.

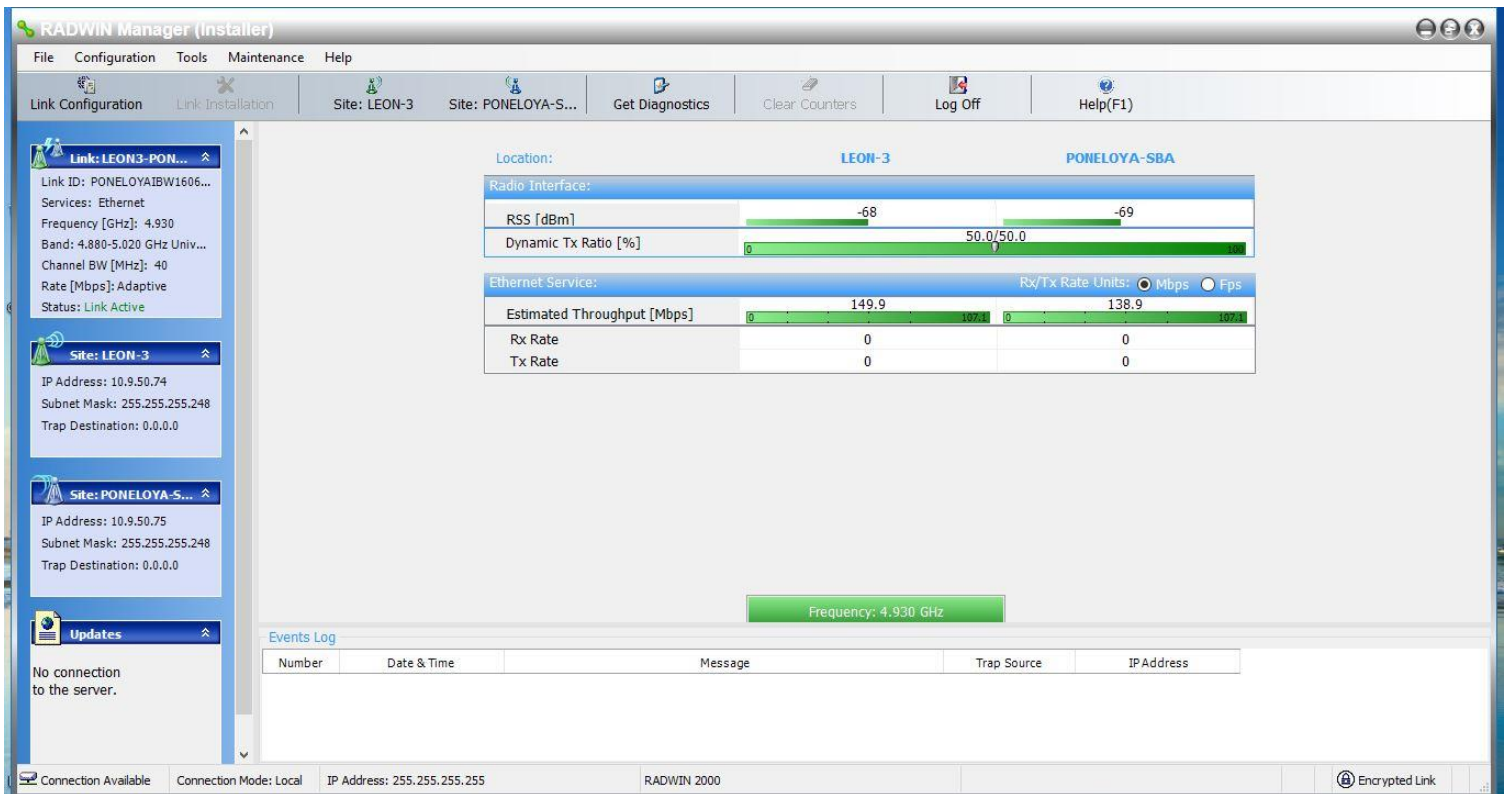


Ilustración 36 Main_Window

Capítulo IV

4.1 Radio Mobile

Es un software de libre distribución para el cálculo de radio enlaces. Radio Mobile utiliza el modelo de propagación Longley – Rice que es un modelo de predicción troposférica para transmisión radio sobre terreno irregular en enlaces de medio y largo alcance.

El modelo de propagación en el que se basa permite trabajar en frecuencias de 20 MHz y 40 GHz con longitudes de trayecto hasta 2000 Km.

4.1.1 Parámetros Generales

En la realización de un radio enlace para el cálculo de propagación el modelo Longley–Rice posee los siguientes parámetros:

- Frecuencia: El rango de frecuencias nominales de este modelo es de 20 MHz y 40 GHz.
- ERP: Potencia efectiva de radiación (Effective Radiated Power), son las unidades que se fijan en la configuración del sistema como: Mw, W, Kw, dBm, Dbw, dBk).
- Antena: Se asume antena omni-direccional, a menos que se especifique el otro tipo de antena.
- Altura de la antena: Es la altura en la que se sitúa la antena, medido en metros o pies (sobre el nivel del mar).

4.1.2 Parámetros Específicos para el Modelo Longley-Rice

- Polarización: Se especifica si se trabaja con polarización vertical u horizontal. El modelo asume que ambas antenas tienen la misma polarización.
- Refractividad: La refractividad de la atmósfera determina la cantidad de “bending” o curvatura que sufrirán las ondas de radio.
- Permitividad: La permitividad relativa o constante dieléctrica del medio (ϵ), tiene unos valores típicos tabulados.

- Conductividad: La conductividad, medida en Siemens por metro, tiene unos valores típicos tabulados.

	Permitividad	Conductividad
Tierra media	15	0.005
Tierra pobre	4	0.001
Tierra rica	25	0.020
Agua fresca	81	0.010
Agua mar	81	5.000

Tabla 3 Parámetros Específicos

4.1.3 Instalación de Software Radio Mobile

Se descarga el Set Up del programa, una vez descargado se ejecuta para instalación.

Una vez instalado en el disco duro se busca el archivo que se encuentra en el disco local en la carpeta Radio Mobile, se abre el archivo bloc de notas que muestra una configuración por defecto a la que hay que borrarle los apostrofes a las primeras 4 líneas para permitir los privilegios de descargar los mapas de internet.



```
*Map_Link: Bloc de notas
Archivo Edición Formato Ver Ayuda
Radio Mobile restricted merge sources
"virtualearth.net
"map.access.mapquest.com
"google.com
"us.maps3.yimg.com/aerial.maps.yimg.com
```

Ilustración 37 Actualización de archivo

4.2 Configuración del enlace punto a punto (Troncal)

Una vez se ejecuta el Radio Mobile se procede a ingresar los parámetros de las unidades a utilizar

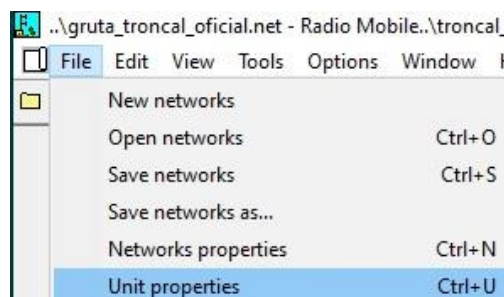


Ilustración 38 Selección propiedades de la unidad

Se agregan las unidades a utilizar



Ilustración 39 Unidades

Coordenadas del Sitio1 y Sitio2

Nombre de la Estación	Latitud	Longitud
Nodo Gruta Xavier	12°8'51.62 N	86°19'34.00 O
Nodo Ciudad Doral	12°12'14.52 N	86°23'42.74 O

Ilustración 40 Coordenadas

Configuración Propiedades de las redes, se agrega la frecuencia mínima y la frecuencia máxima marcando la casilla de climate (Continental Temperate)

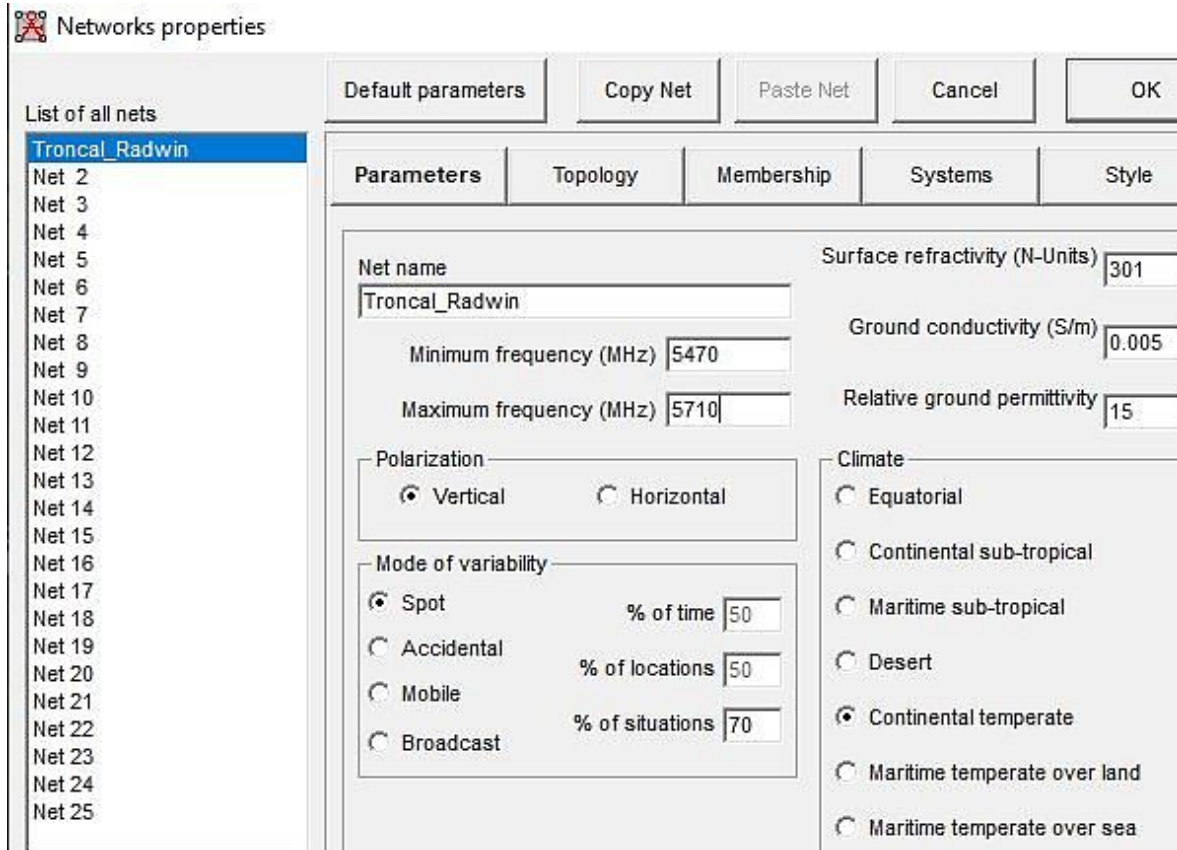


Ilustración 41 Ingreso de frecuencia

Propiedades de redes/ Topology/Datanet

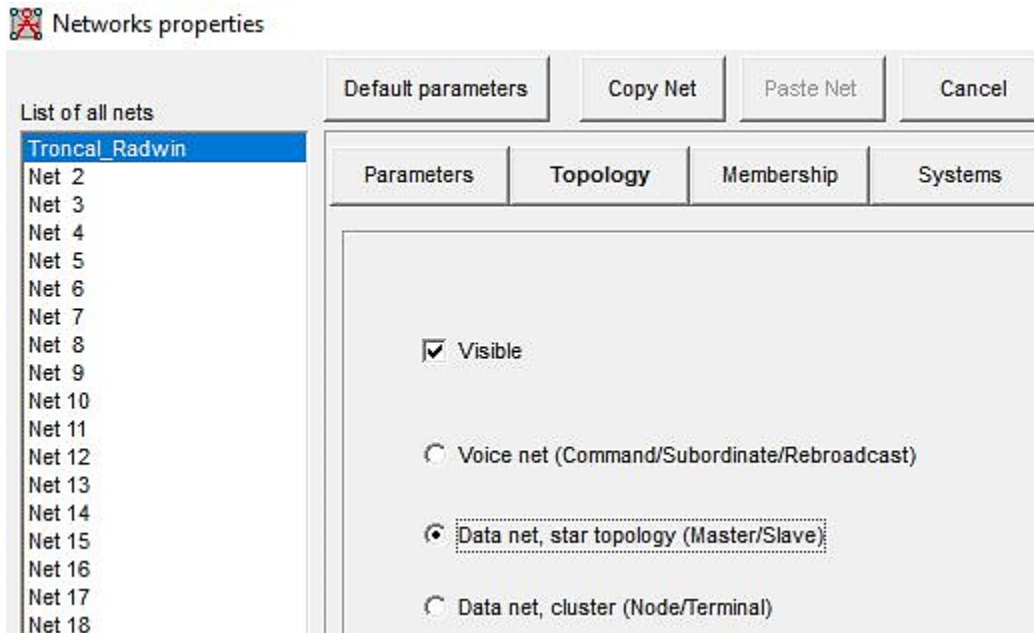


Ilustración 42 Selección Topología estrella

Propiedades de redes/Systems: Se ingresan parámetros del sistema de los radios, potencia, ganancia de antena y altura.

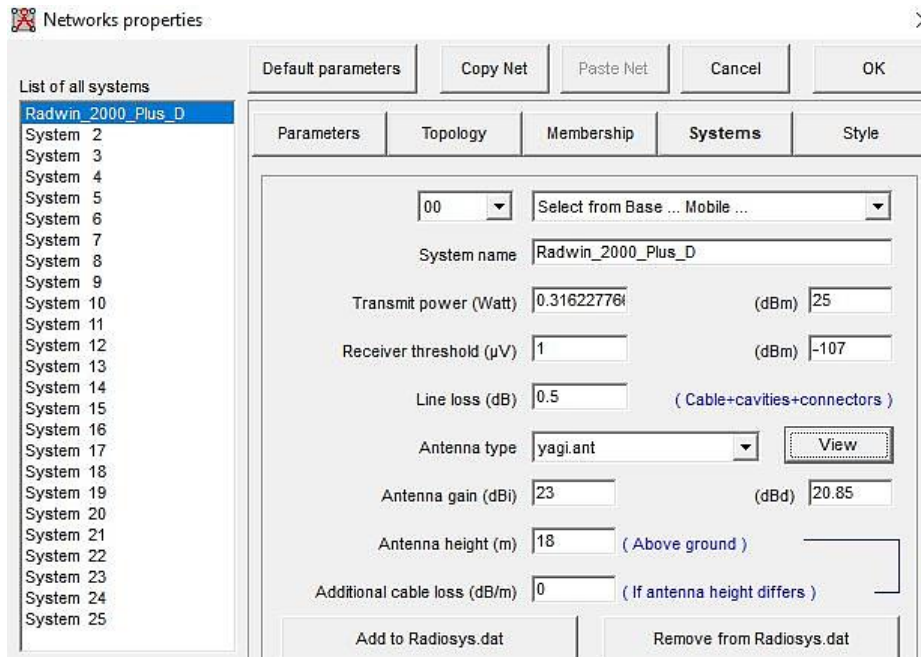


Ilustración 43 Configuración de Sistema

Propiedades de redes/Membership: Se configuran ambos sitios como dirección de la antena y sus atributos de radio Master y radio Slave:

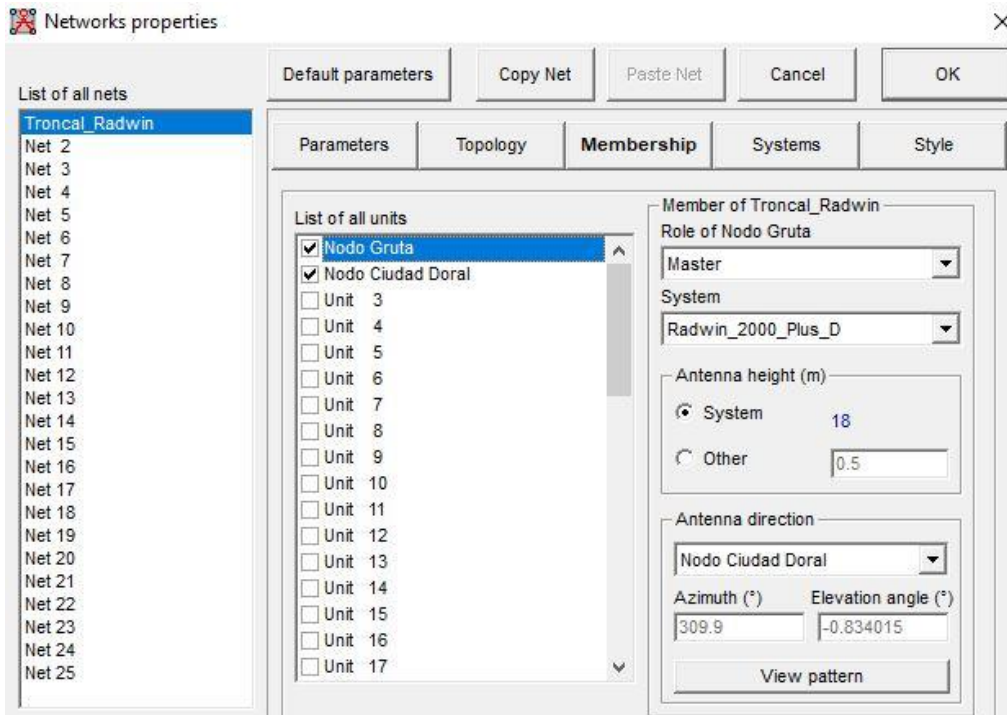


Ilustración 44 Configuración Nodo Gruta-Nodo Ciudad Doral

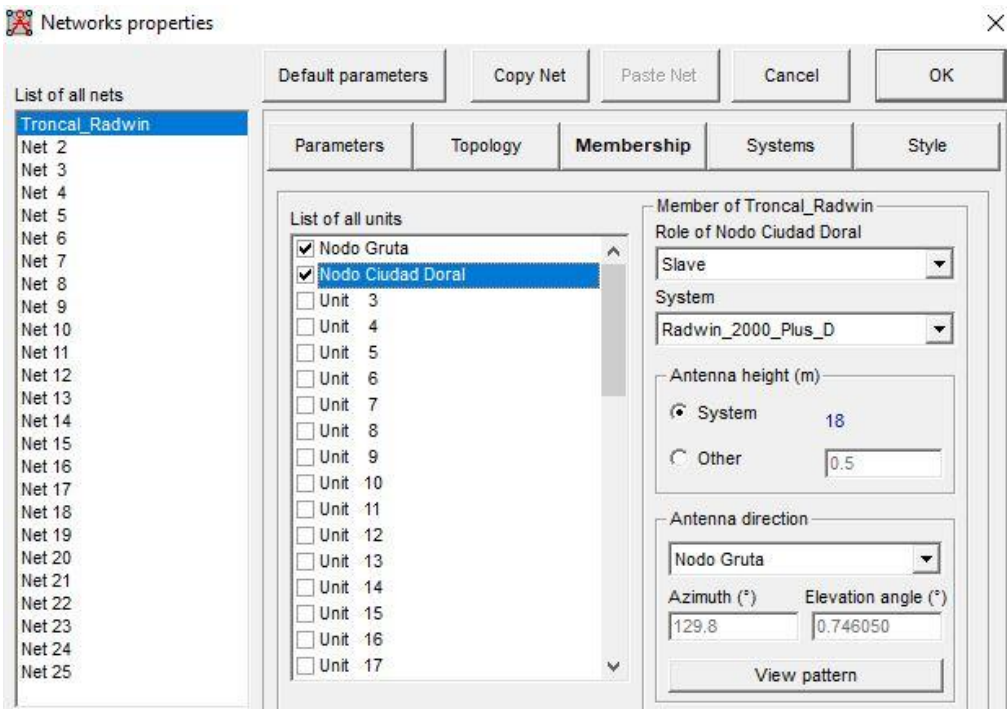


Ilustración 45 Configuración: Nodo Ciudad Doral-Nodo Gruta

4.3 Simulación del enlace troncal haciendo uso del Software Radio Mobile

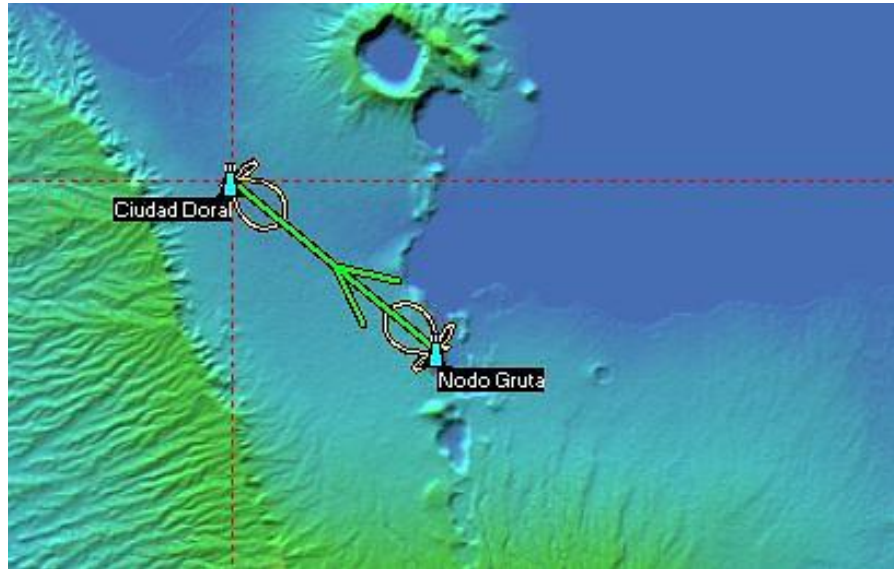


Ilustración 46 Enlace PTP Nodo Gruta-Ciudad Doral

Coordenadas Nodo Gruta Xavier

Latitud: 12°8'51.62 N	Longitud: 86°19'34.00 O
------------------------------	--------------------------------

Coordenadas Residencial Ciudad Doral

Latitud: 12°12'14.52 N	Longitud: 86°23'42.74 O
-------------------------------	--------------------------------

Perfil de la Troncal mostrado en el Radio Link.

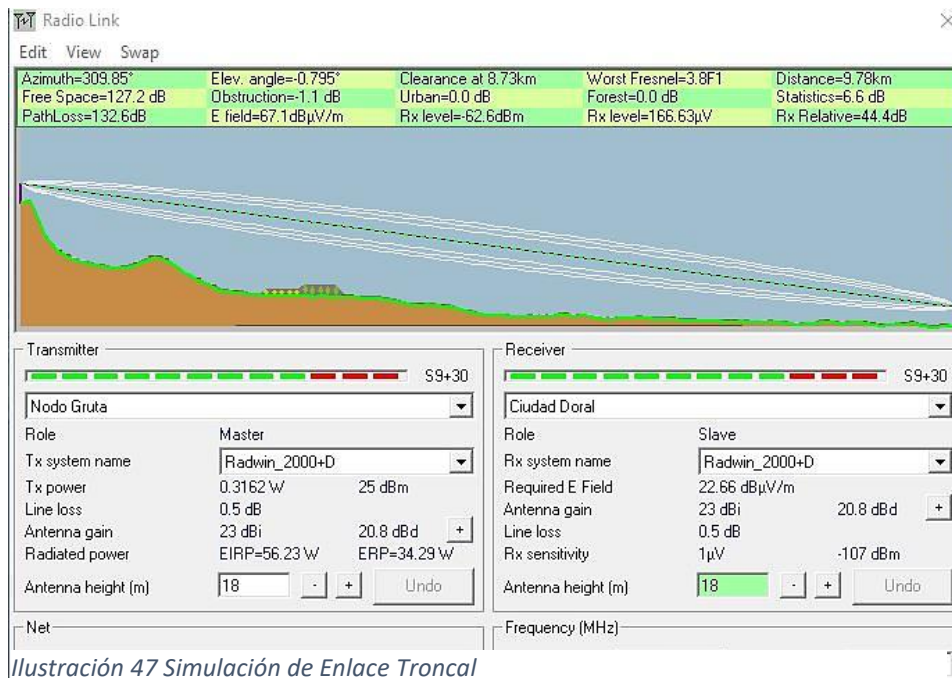


Ilustración 47 Simulación de Enlace Troncal

Mostrando Zonas de Fresnel con RMPATH

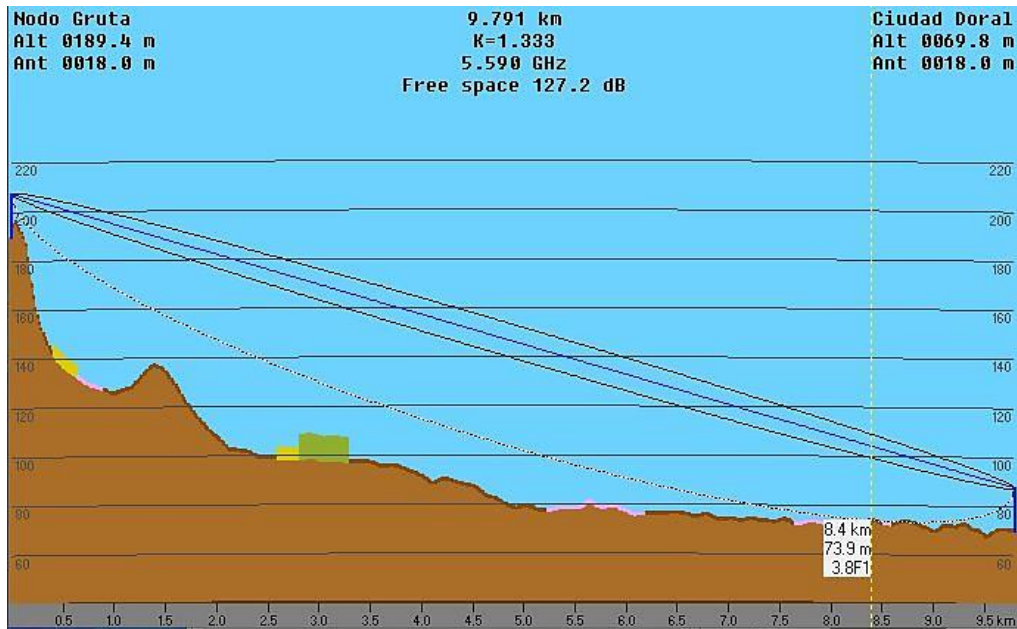


Ilustración 48 Perfil RMPATH

Parámetros del enlace mostrado por Google Earth

Nodo Gruta - Ciudad Doral [Red Nodo Gruta]

Distance between Nodo Gruta and Ciudad Doral is 9.8 km (6.1 miles)

True North Azimuth = 309.85°, Magnetic North Azimuth = 310.79°,

Elevation angle = -0.7948°

Red Nodo Gruta

Terrain elevation variation is 125.6 m

Propagation mode is line-of-sight, minimum clearance 3.8F1 at 8.7km

Average frequency is 5590.000 MHz

Free Space = 127.2 dB, Obstruction = -1.1 dB, Urban = 0.0 dB, Forest = 0.0 dB, Statistics = 6.6 dB

Total propagation loss is 132.6 dB

System gain from Nodo Gruta to Ciudad Doral is 177.0 dB (yagi.ant at 309.9° gain = 23.0 dB)

System gain from Ciudad Doral to Nodo Gruta is 177.0 dB (yagi.ant at 129.8° gain = 23.0 dB)

Worst reception is 44.4 dB over the required signal to meet 70.000% of situations

Ilustración 49 Resultados de perfil de Google Earth

4.4 Cálculos del Radio Enlace

4.4.1 Distancia entre los sitios Nodo Gruta Xavier – Residencial Ciudad Doral

Para encontrar la distancia entre dos sitios se tiene que tener en cuenta la curvatura de la tierra para realizar dicho cálculo. Utilizando la ecuación conocida como la fórmula de “Haversine”, se puede calcular la distancia entre dos lugares utilizando su latitud y longitud como puntos de partida.

Para poder utilizar esta fórmula primeramente se tienen que convertir las coordenadas geográficas de cada uno de los sitios a grados decimales en el cual se usó una calculadora online “calculadora geodésica de coordenadas en línea” para la conversión, luego los grados decimales se convierten a radianes usando la fórmula $r = d * (\pi/180)$ donde d es la latitud y longitud en grados decimales, puesto que la fórmula de Haversine una funciones trigonométricas. Luego se calcula la diferencia entre las latitudes y las longitudes, donde se restan las coordenadas del origen al destino, este valor representa delta latitud y delta longitud (se tiene que tener en cuenta que la distancia no puede ser negativa).

La fórmula de Haversine está dada de la siguiente manera:

$$a = \text{sen} (\Delta\text{lat}/2)^2 + \cos(\text{lat}1) * \cos(\text{lat}2) * \text{sen} (\Delta\text{long}/2)^2$$

Donde

$$\Delta\text{lat} = \text{lat}2 - \text{lat}1$$

$$\Delta\text{long} = \text{long}2 - \text{long}1$$

El valor de a encontrado en la ecuación anterior se usa para encontrar otra ecuación intermedia que es:

$$c = 2 * \tan^{-1}\left(\frac{\sqrt{a}}{\sqrt{1-a}}\right)$$

Por último, luego de obtener estos valores se calcula la distancia en kilómetros mediante la fórmula:

$$d = R * c$$

Donde R representa el radio de la tierra que equivale a 6,371 kilómetros. (Schrader, 2021)

Distancia entre los sitios

Coordenadas en grados decimales del Nodo Gruta Xavier

Latitud: 12.14767222	Longitud: 86.326111
----------------------	---------------------

Coordenadas en grados decimales de Residencial Ciudad Doral

Latitud: 12.2040333	Longitud: 86.39520555
---------------------	-----------------------

Luego se realiza la conversión a radianes con la fórmula dada anteriormente

Nodo Gruta Xavier

➤ Latitud_1

$$r = 12.14767222 * \left(\frac{\pi}{180}\right) = 0.212016$$

➤ Longitud_1

$$r = 86.326111 * \left(\frac{\pi}{180}\right) = 1.506667$$

Nodo Residencial Ciudad Doral

➤ Latitud_2

$$r = 12.2040333 * \left(\frac{\pi}{180}\right) = 0.21300056$$

➤ Longitud_2

$$r = 86.39520555 * \left(\frac{\pi}{180}\right) = 1.507880$$

Se procede a encontrar $\Delta lat = lat2 - lat1$, sustituyendo quedaría:

$$\Delta lat = 0.21300056 - 0.212016 = 0.00098456$$

Ahora se busca $\Delta long = long2 - long1$, sustituyendo en la ecuación:

$$\Delta long = 1.507880 - 1.506667 = 0.001213$$

Luego de obtener estos datos se procede a sustituir en la ecuación de Haversine:

$$a = \operatorname{sen} \left(\frac{0.00098456}{2} \right)^2 + \cos(0.212016) * \cos(0.21300056) * \operatorname{sen} \left(\frac{0.001213}{2} \right)^2$$

$$a = \operatorname{sen} (0.00049228)^2 + \cos(0.212016) * \cos(0.21300056) * \operatorname{sen} (0.0006065)^2$$

$$a = 0.00000059381$$

Ya encontrado el valor de a procedemos a calcular

$$c = 2 * \tan^{-1} \left(\frac{\sqrt{0.00000059381}}{\sqrt{1 - 0.00000059381}} \right)$$

$$c = 0.00154118$$

Luego de haber realizado estos cálculos se procede a calcular la distancia:

$$d = R * c$$

$$d = 6,371 * 0.00154118$$

$$d = 9.81 \text{ km}$$

Por lo tanto, la distancia obtenida entre los dos enlaces es de 9.81 km.

Encontrando distancias 1 y 2

Para poder utilizar la fórmula de Fresnel es necesario encontrar las distancias 1 y 2, el cual se obtendrán suponiendo un obstáculo ya que en el enlace troncal la línea de vista es plena.



Ilustración 50 Posible obstáculo

Los datos del obstáculo obtenidos a través de Google Earth son:

Altura: 135 m

Distancia_1 desde Tx al obstáculo: 1.4 km

Distancia_2 desde el obstáculo al Rx: 8.41

Cálculo de la primera zona de Fresnel

$$R_n = 548 \sqrt{\frac{d1 \times d2}{f \times d}}$$

Donde:

$d1$ = distancia del Tx al obstáculo.

$d2$ = distancia del obstáculo al Rx.

f = frecuencia en MHz

d = distancia total entre Tx y Rx.

Sustituyendo los datos en la fórmula:

$$d1 = 1.4 \text{ km}$$

$$d2 = 8.41 \text{ km}$$

$$f = 5,470 \text{ MHz}$$

$$d = 9.81 \text{ km}$$

$$R_n = 548 \sqrt{\frac{1.4 \text{ km} \times 8.41 \text{ km}}{5,470 \text{ MHz} \times 9.81 \text{ km}}}$$

$$R_n = 8.1173 \text{ m}$$

Cálculo del haz radioeléctrico de la primera zona de Fresnel (máximo radio)

$$F_1[m] = 8.656 \sqrt{\frac{D[\text{km}]}{f[\text{GHz}]}}$$

Sustituyendo los datos en la ecuación

$$F_1[m] = 8.656 \sqrt{\frac{9.81 \text{ km}}{5.4}}$$

$$F_1[m] = 11.667 \text{ m}$$

Calculo de la altura del despeje de la primera zona de Fresnel

Para realizar este cálculo se tiene que tomar en cuenta la altura del terreno más la altura de la torre tanto para el Tx y Rx,

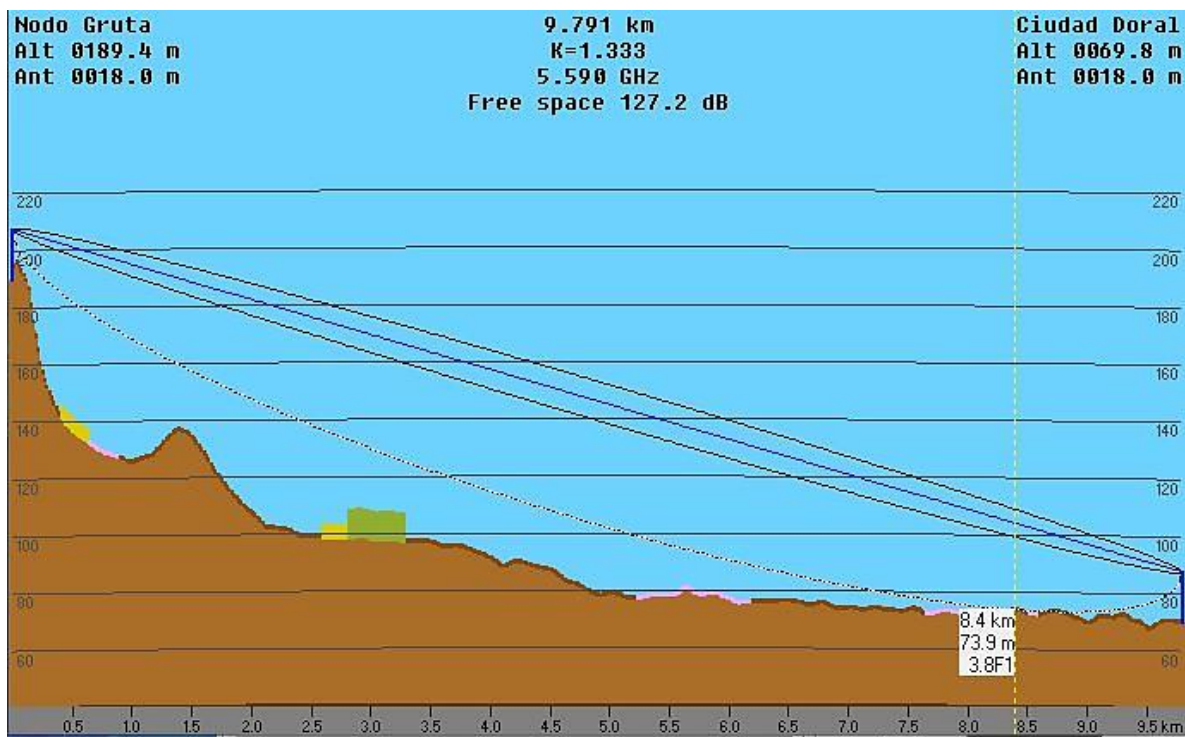


Ilustración 51 RMpath_alturas de antenas

Se utilizará la siguiente fórmula:

$$h_{des} = h1 + \frac{d1}{d} \times (h1 - h2) - \left(h + \frac{d1 \times d2 \times 1000}{2 \times K \times a} \right)$$

Donde:

$h1$ = altura del punto A (incluyendo la torre)

$h2$ = altura del punto B (incluyendo la torre)

h = altura del obstáculo

d_1 = distancia del Tx al obstáculo.

d = distancia total entre Tx y Rx.

d_2 = distancia del obstáculo al Rx.

K = radio efectivo de la tierra, equivale a $4/3$ para la atmósfera estándar

a = 6,371 radio promedio de la tierra

Sustituyendo en la ecuación:

$$h_1 = 189.4 + 18 = 207.4 \text{ m}$$

$$h_2 = 69.8 + 18 = 87.8 \text{ m}$$

$$h = 135 \text{ m}$$

$$d = 9.81 \text{ km}$$

$$d_1 = 1.4 \text{ km}$$

$$d_2 = 8.41$$

K = radio efectivo de la tierra, equivale a $4/3$ para la atmósfera estándar

a = 6,371 radio promedio de la tierra

$$h_{des} = 207.4m + \frac{1.4km}{9.81km} \times (207.4m - 87.8m) - \left(135m + \frac{1.4 \times 8.41 \times 1000}{2 \times \frac{4}{3} \times 6,371}\right)$$

$$h_{des} = 88.973 \text{ m}$$

Cálculo de las pérdidas por trayectoria en el espacio libre

$$L_{p(dB)} = 32.4 + 20 \log f_{(MHz)} + 20 \log D_{Km}$$

Donde:

$$f(\text{MHz}) = 5,470$$

$$D(\text{km}) = 9.81 \text{ km}$$

Sustituyendo en la fórmula:

$$L_{p(dB)} = 32.4 + 20 \log(5,470) + 20 \log(9.81)$$

$$L_{p(dB)} = 126.99 \text{ dB}$$

Margen de desvanecimiento

$$F_m = 30 \log D + 10 \log(6ABf) - 10 \log(1 - R) - 70$$

Donde:

$$D=9.81 \text{ km}$$

$$A=1$$

$$B=0.5$$

$$f=5.4$$

$$R=99.99\%$$

Sustituyendo queda:

$$F_m = 30 \log(9.81) + 10 \log(6 \times 1 \times 0.5 \times 5.4) - 10 \log(1 - 99.9\%) - 70$$

$$F_m = 11.8452 \text{ dB}$$

Confiabilidad del enlace

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

$$R = (100 - P) \times 100$$

$$d=9.81 \text{ km}$$

$$a=1$$

$$b=0.5$$

$$f=5,470$$

$$MD=11.8452 \text{ dB}$$

Sustituyendo en la ecuación de indisponibilidad:

$$P = 6 \times 10^{-7} \times (1)(0.5)(5470)(9.81)^3 \times 10^{-11.8452/10}$$

$$P = 0.101297$$

La confiabilidad sería:

$$R = (100 - 0.101297) \times 100\%$$

$$R = 99.8987\%$$

Cálculo del EIRP (PIRE)

$$PIRE_{(dBm)} = potencia Tx (dBm) - pérdidas en cable y conectores (dB) \\ + ganancia de antena(dBi)$$

$$PIRE_{(dBm)} = 25 dBm - 0 + 23 dBi$$

$$PIRE_{(dBm)} = 48 dBm$$

Nota: Se asume el valor de 0 en pérdidas de cable y conectores porque son equipos integrados.

Cálculo del despeje de la primera zona de Fresnel

$$M = h_{des} - R_n$$

$M \geq 0$ aprobado

$M < 0$ Obstruido

$$M = 88.973 m - 8.1173m$$

$$M = 80.85 m$$

Como $80.85 m \geq 0$ se aprueba.

4.4.2 Cálculo para el radio enlace punto multipunto

La siguiente imagen muestra la simulación de los enlaces en el sector de Ciudad el Doral.



Ilustración 52 Nodo Ciudad Doral_Enlaces PTMP

Para realizar el cálculo del enlace PTMP se seleccionará el suscriptor_3. Ocupando la fórmula de Haversine para encontrar la distancia entre los dos puntos.

Coordenadas en grados decimales de Residencial Ciudad Doral

Latitud: 12.2040333	Longitud: 86.39520555
---------------------	-----------------------

Coordenadas en grados decimales del Suscriptor_3

Latitud: 12.19884722	Longitud: -86.38549722
----------------------	------------------------

Conversión de grados decimales a radianes

Residencial Ciudad Doral

Latitud: 0.21300056	Longitud: 1.507880
---------------------	--------------------

Suscriptor_3

Latitud: 0.21291004	Longitud: 1.50771135
---------------------	----------------------

Se procede a encontrar Δlat y $\Delta long$

$$\Delta lat = 0.21291004 - 0.21300056 = 0.00009052$$

$$\Delta long = 1.50771135 - 1.507880 = 0.0001686$$

Sustituyendo en la Fórmula de Haversine:

$$a = \text{sen} (0.00009052/2)^2 + \cos(0.21300056) * \cos(0.21291004) \\ * \text{sen} (0.0001686/2)^2$$

$$a = 0.00000000883$$

Ya encontrado el valor de a se procede a calcular

$$c = 2 * \tan^{-1} \left(\frac{\sqrt{0.00000000883}}{\sqrt{1 - 0.00000000883}} \right)$$

$$c = 0.00018793615$$

Luego de haber realizado estos cálculos se procede a calcular la distancia:

$$d = R * c$$

$$d = 6,371 * 0.00018793615$$

$$d = 1.19 \text{ km}$$

Cálculo de la primera zona de Fresnel

Como no hay obstrucción en el perfil, por lo tanto, se consideran las distancias $d_1=d_2$, para determinar el radio de la primera zona de Fresnel.

$$R_n = 548 \sqrt{\frac{n(d_1)^2}{f \times d}}$$

$$R_n = 548 \sqrt{\frac{n(d/2)^2}{f \times d}}$$

$$R_n = 548 \sqrt{\frac{n(d)^2}{4 \times f \times d}}$$

$$R_n = 548 \sqrt{\frac{n \times d}{4 \times f}}$$

Sustituyendo en la fórmula obtenida

$n= 1$, 1ra zona de Fresnel

$d= 1.19$ km distancia del Nodo ciudad Doral al Suscriptor_3

$f= 5,150$ frecuencia en MHz

$$R_n = 548 \sqrt{\frac{1 \times 1.19}{4 \times 5,150}}$$

$$R_n = 4.16 \text{ m}$$

Cálculo del haz radioeléctrico de la primera zona de Fresnel (máximo radio)

$$F_1[m] = 8.656 \sqrt{\frac{D[km]}{f[GHz]}}$$

Sustituyendo datos

$$F_1[m] = 8.656 \sqrt{\frac{1.19 \text{ km}}{5.1}}$$

$$F_1[m] = 4.18 \text{ m}$$

Cálculo de las pérdidas por trayectoria en el espacio libre.

$$L_{p(dB)} = 32.4 + 20 \log f_{(MHz)} + 20 \log D_{Km}$$

Donde:

$$f(\text{MHz}) = 5,150$$

$$D(\text{km}) = 1.19 \text{ km}$$

Sustituyendo en la fórmula:

$$L_{p(dB)} = 32.4 + 20 \log(5,150) + 20 \log(1.19)$$

$$L_{p(dB)} = 108.14 \text{ dB}$$

Margen de desvanecimiento

$$F_m = 30 \log D + 10 \log(6ABf) - 10 \log(1 - R) - 70$$

Donde:

$$D = 1.19 \text{ km}$$

$$A = 1$$

$$B = 0.5$$

$$f = 5.1$$

$$R = 99.99\%$$

Sustituyendo queda:

$$F_m = 30 \log(1.19) + 10 \log(6 \times 1 \times 0.5 \times 5.1) - 10 \log(1 - 99.99\%) - 70$$

$$F_m = -15.88 \text{ dB}$$

Confiabilidad del enlace

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

$$R = (100 - P) \times 100\%$$

$$d = 1.19 \text{ km}$$

$$a = 1$$

$$b = 0.5$$

$$f = 5,150$$

$MD = -15.88 \text{ dB}$

Sustituyendo en la ecuación de indisponibilidad:

$$P = 6 \times 10^{-7} \times (1)(0.5)(5150)(1.19)^3 \times 10^{15.88/10}$$

$$P = 0.100825$$

La confiabilidad sería:

$$R = (100 - 0.100825) \times 100\%$$

$$R = 99.8991\%$$

Cálculo del EIRP (PIRE)

$$PIRE_{(dBm)} = \text{potencia Tx (dBm)} - \text{pérdidas en cable y conectores (dB)} \\ + \text{ganancia de antena (dBi)}$$

$$PIRE_{(dBm)} = 39.29 \text{ dBm} - 0 + 25 \text{ dBi}$$

$$PIRE_{(dBm)} = 64.29 \text{ dBm}$$

Resultados del perfil del enlace con radios UBIQUITI

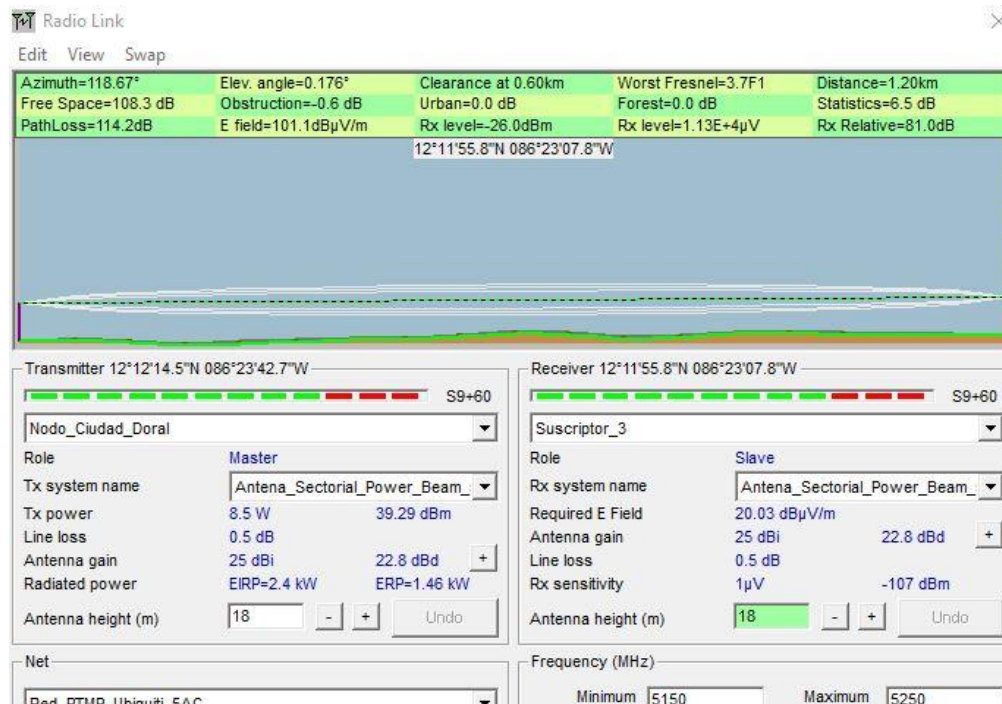


Ilustración 53 Perfil del enlace por Radio Mobile

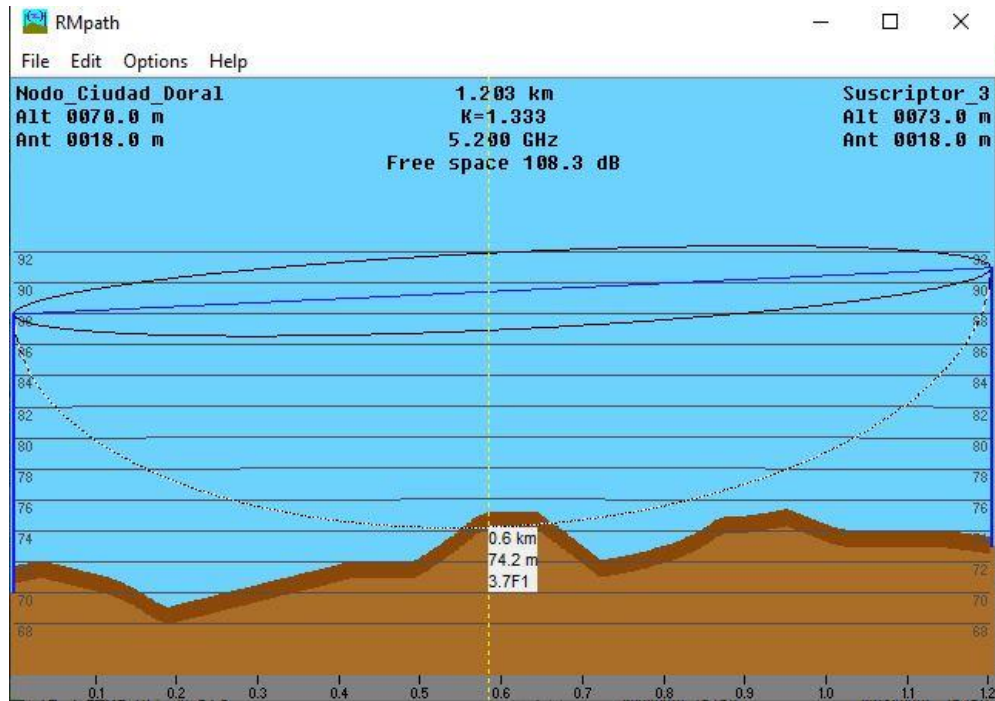


Ilustración 54 Perfil RMPATH

Nodo_Ciudad_Doral - Suscriptor_3 [Red_PTMP_Ubiquiti_5AC]

Distance between Nodo_Ciudad_Doral and Suscriptor_3 is 1.2 km (0.7 miles)

True North Azimuth = 118.67°, Magnetic North Azimuth = 119.57°, Elevation angle = 0.1757°

Red_PTMP_Ubiquiti_5AC

Terrain elevation variation is 7.1 m

Propagation mode is line-of-sight, minimum clearance 3.7F1 at 0.6km

Average frequency is 5200.000 MHz

Free Space = 108.3 dB, Obstruction = -0.6 dB, Urban = 0.0 dB, Forest = 0.0 dB, Statistics = 6.5 dB

Total propagation loss is 114.2 dB

System gain from Nodo_Ciudad_Doral to Suscriptor_3 is 195.3 dB (yagi.ant at 118.7° gain = 25.0 dB)

System gain from Suscriptor_3 to Nodo_Ciudad_Doral is 195.3 dB (yagi.ant at 298.7° gain = 25.0 dB)

Worst reception is 81.0 dB over the required signal to meet 70.000% of situations

Ilustración 55 Perfil Google Earth

4.4.3 Perfil de los enlaces PTMP usando la tecnología UBIQUITI

Suscriptor_1

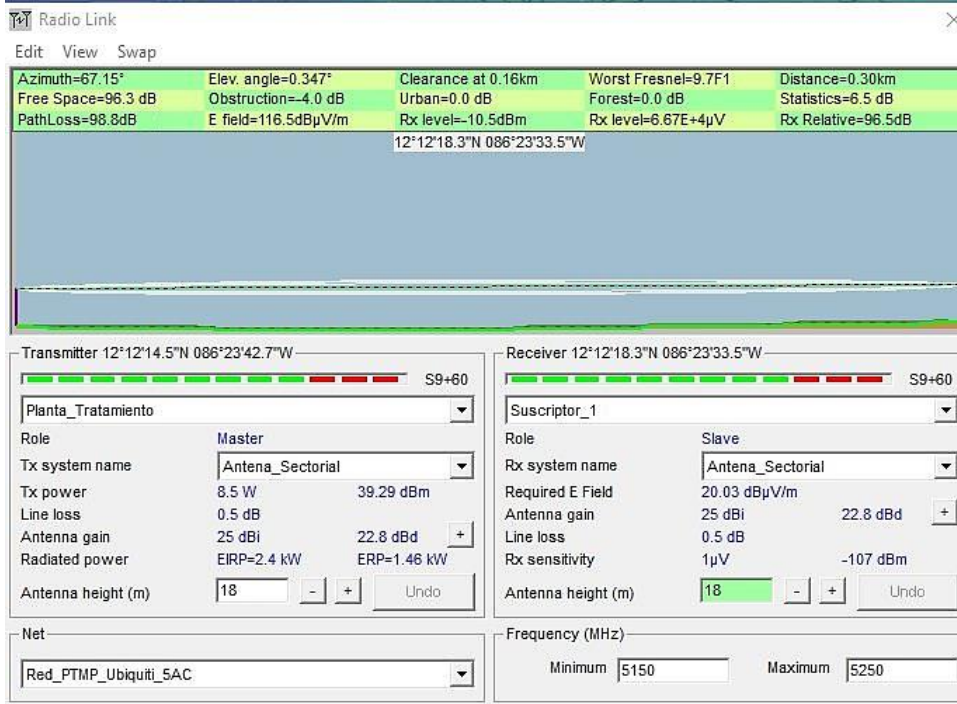


Ilustración 56 Suscriptor_1 Radio Mobile

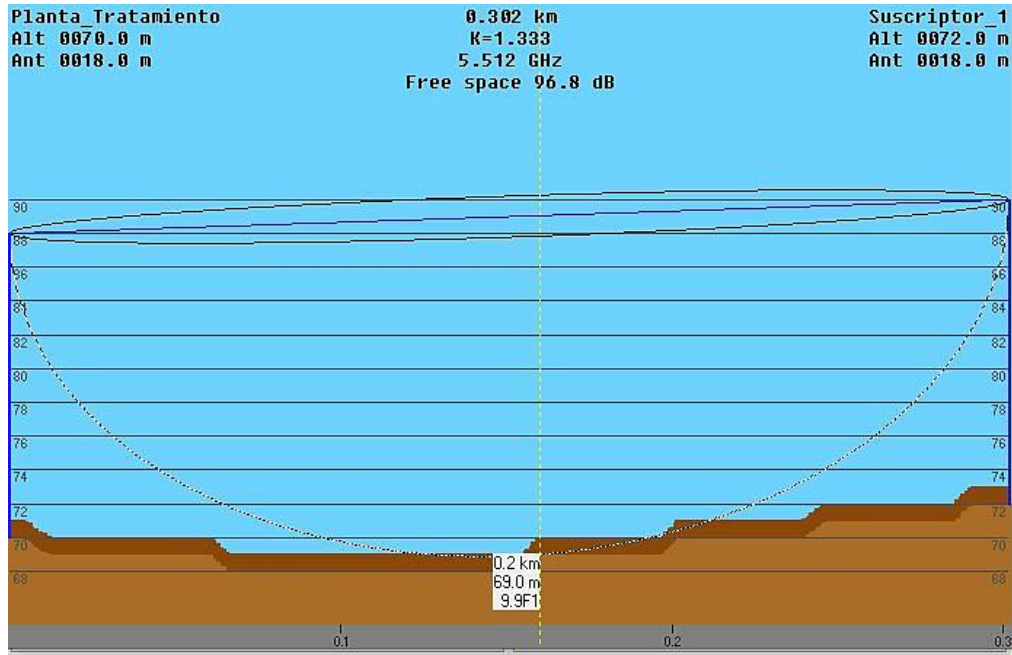


Ilustración 57 Suscriptor_1_RMpath

Suscriptor_2

Radio Link

Edit View Swap

Azimuth=102.16°	Elev. angle=0.294°	Clearance at 0.39km	Worst Fresnel=5.6F1	Distance=0.61km
Free Space=102.5 dB	Obstruction=-2.8 dB	Urban=0.0 dB	Forest=0.0 dB	Statistics=6.5 dB
PathLoss=106.1dB	E field=109.2dBμV/m	Rx level=-17.9dBm	Rx level=2.87E+4μV	Rx Relative=-89.1dB

12°12'10.3"N 086°23'22.9"W

Transmitter 12°12'14.5"N 086°23'42.7"W

S9+60

Planta_Tratamiento

Role: Master

Tx system name: Antena_Sectorial

Tx power: 8.5 W (39.29 dBm)

Line loss: 0.5 dB

Antenna gain: 25 dBi (22.8 dBd)

Radiated power: EIRP=2.4 kW (ERP=1.46 kW)

Antenna height (m): 18

Receiver 12°12'10.3"N 086°23'22.9"W

S9+60

Suscriptor_2

Role: Slave

Rx system name: Antena_Sectorial

Required E Field: 20.03 dBμV/m

Antenna gain: 25 dBi (22.8 dBd)

Line loss: 0.5 dB

Rx sensitivity: 1μV (-107 dBm)

Antenna height (m): 18

Net: Red_PTMP_Ubiquiti_5AC

Frequency (MHz): Minimum 5150, Maximum 5250

Ilustración 58 Suscriptor_2_Radio Mobile

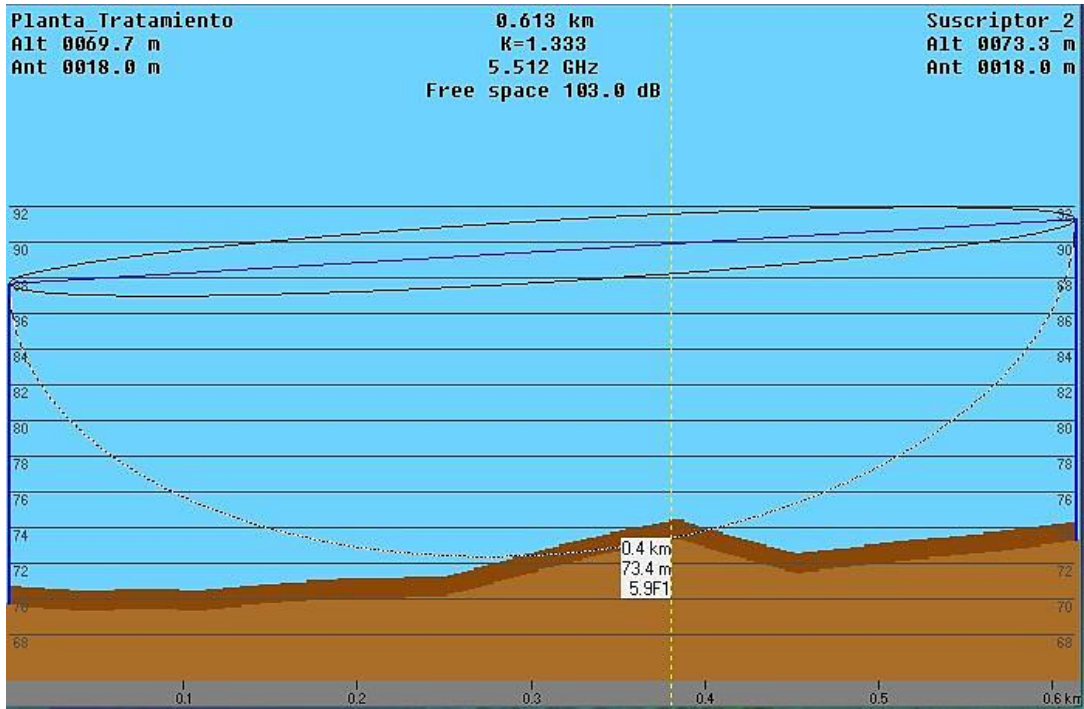


Ilustración 59 Suscriptor_2_RMpath

Suscriptor_4

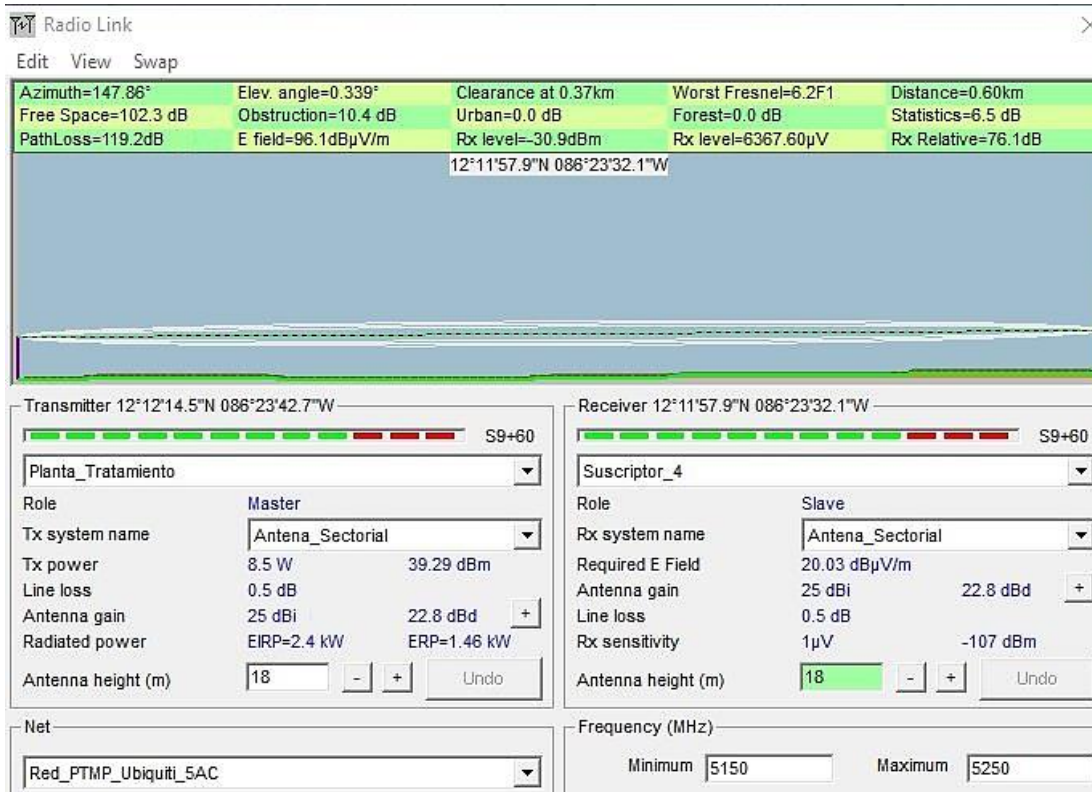


Ilustración 60 Suscriptor_4_Radio Mobile

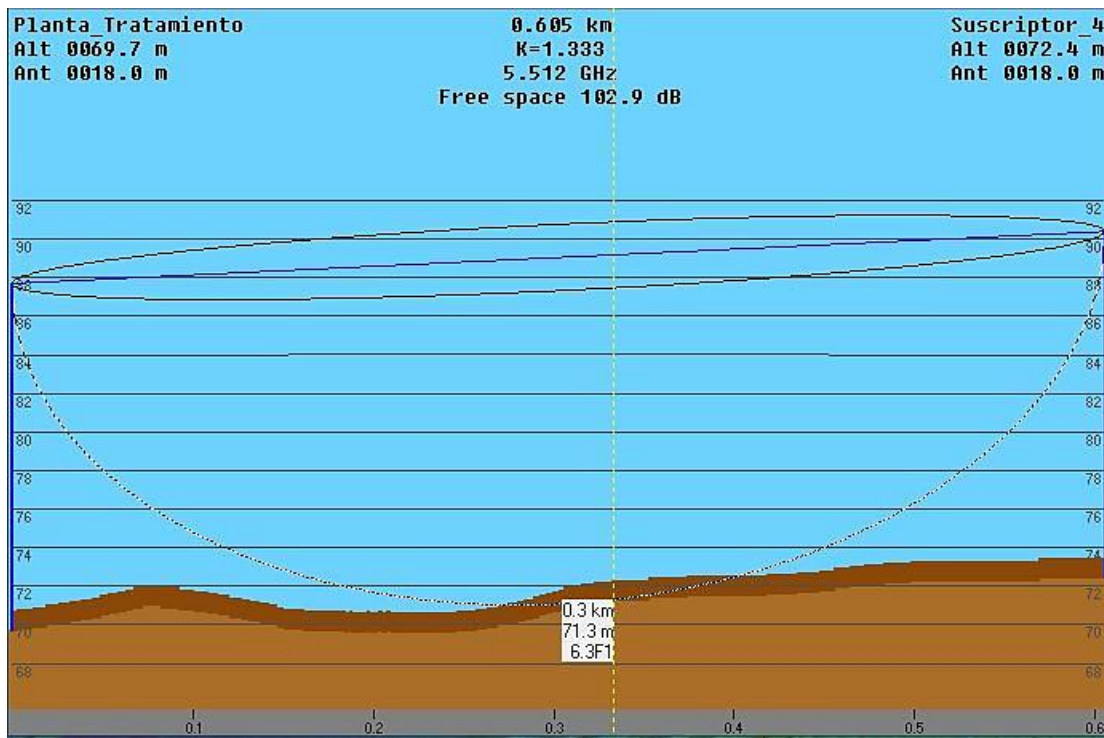


Ilustración 61 Suscriptor_4_RMpath

Suscriptor_5

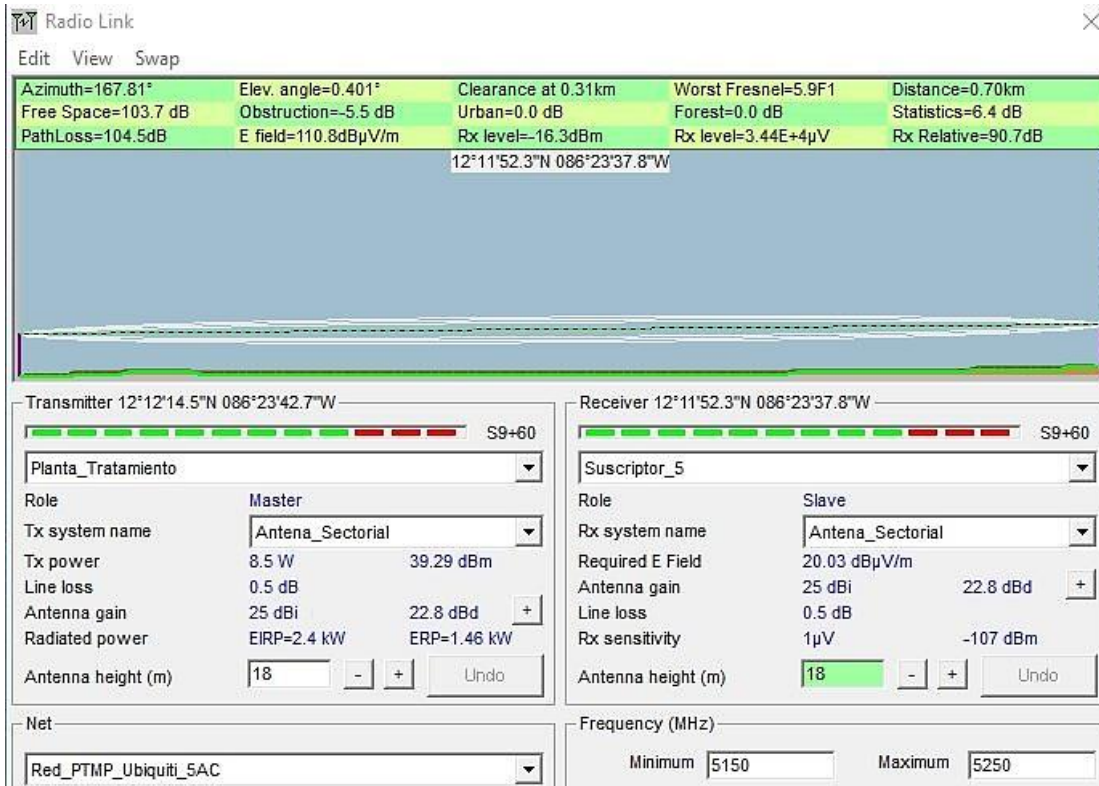


Ilustración 62 Suscriptor_5_Radio Mobile

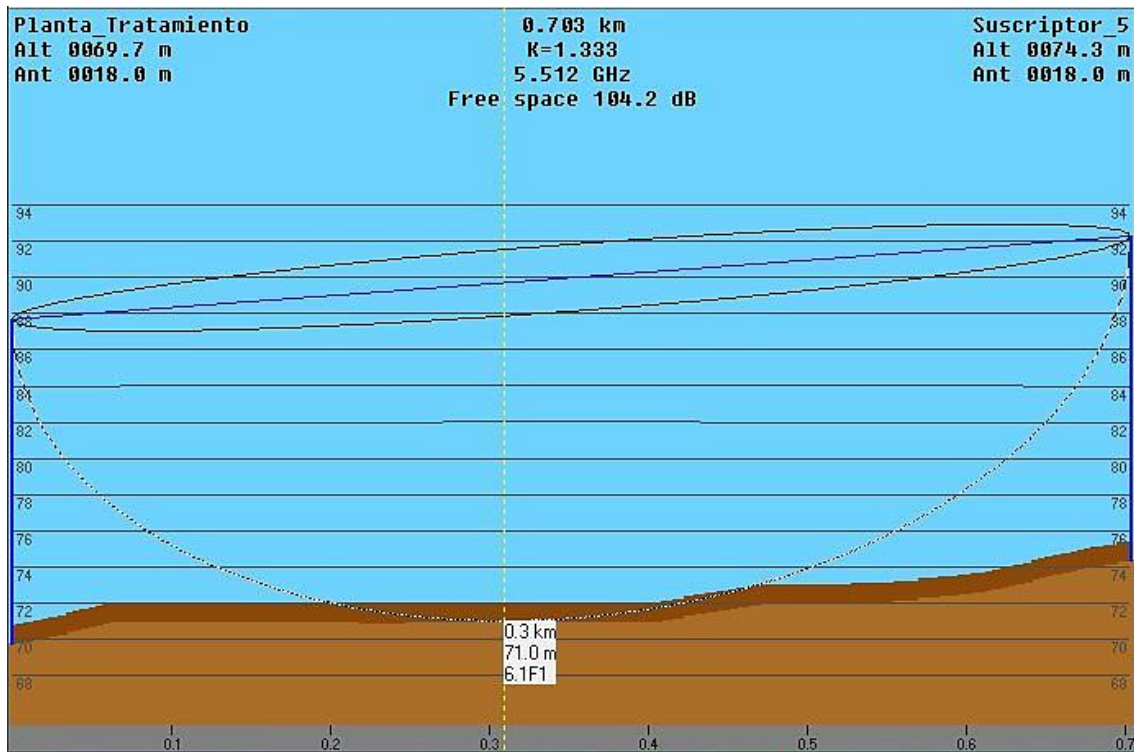


Ilustración 63 Suscriptor_5_RMpath

El resultado proporcionado por Radio Mobile demuestra que los enlaces se encuentran en línea de vista sin obstrucciones. Los suscriptores son los sectores que abarcará la Antena PTMP de UBIQUITI de 90°, cuyo rango por los estándares de UBNT son más de 10 km, se puede apreciar que los enlaces son de corta distancia en Residencial Ciudad El Doral obteniendo de esta forma resultados óptimos.

Las siguientes imágenes muestran la simulación de los enlaces PTMP en Residencial Ciudad EL Doral importada de radio Mobile a Google Earth.

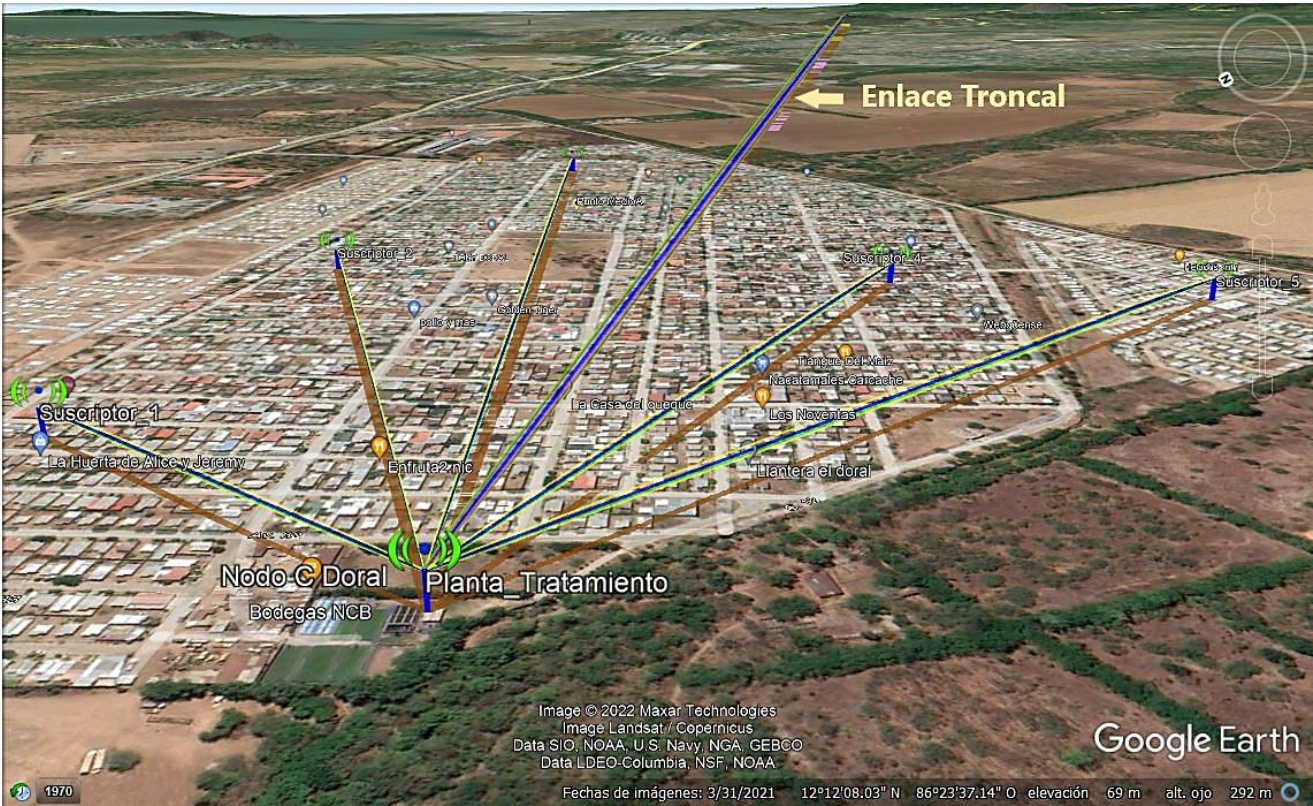


Ilustración 64 Enlace PTMP_Perfil_1



Ilustración 65 Enlace PTMP_Perfil_2

4.5 Ventajas y desventajas al proveer servicios de internet por medio de radio enlaces punto multipunto.

Los enlaces microondas permiten la transmisión económica simultánea de grandes volúmenes de información sin importar su naturaleza (video, audio o datos), en condiciones que muchas veces son adversas para los medios cableados.

4.5.1 Ventajas

Los radioenlaces ocupan una posición de considerable importancia en el campo de las telecomunicaciones, y en muchos sentidos son fuertes competidores de los sistemas de transmisión basados en cable o fibra óptica.

El correcto diseño de un radioenlace produce un sistema de alta calidad, capaz de transmitir gran cantidad de información de manera económica y eficiente.

La transmisión por microondas garantiza un ancho de banda importante, lo cual es necesario si se requiere la transmisión de un gran volumen de información.

Ofrece total flexibilidad en cuanto a la capacidad del sistema; el cual puede configurarse para soportar desde unos pocos canales hasta aplicaciones que demandan un gran ancho de banda.

En aquellas aplicaciones donde la posibilidad de expansión es importante, un radioenlace puede instalarse con solo inicialmente unos cuantos circuitos de comunicaciones.

La capacidad puede ser expandida de acuerdo a la demanda, añadiendo equipos o nuevos canales de microondas.

Los tiempos de instalación y puesta en marcha son significativamente menores. Este es un factor de gran importancia en instalaciones temporales. Estas circunstancias se dan en instalaciones como ISP (Internet Service Provider), cuando el tiempo de instalación está severamente limitado o en situaciones de emergencia.

El sistema puede poseer movilidad, la cual apoya la productividad y la efectividad con la que se presta el servicio.

Es más eficaz un sistema de microondas en sitios en los que no existe la posibilidad de expandir la infraestructura existente de cable o fibra óptica, como en zonas rurales o en zonas urbanas densamente urbanizadas.

Los radioenlaces es una ventaja con mayor importancia cuando es necesario operar bajo condiciones climáticas o topográficas adversas.

Es la alternativa más económica para suministrar servicios de telecomunicaciones donde no es posible expandir la infraestructura de red.

4.5.2 Desventajas

Muchos de los equipos y recursos en la operación de un radioenlace son bastante costosos.

A la hora de poner en marcha un radioenlace hay que diseñar sin sobredimensionar, en ciertas etapas de instalación hay márgenes que se excluyen por falta de tiempo o coordinación, obteniendo un resultado más costoso a lo establecido.

En el desarrollo de un radioenlace siempre cabe la probabilidad de riesgo, cuando no se toman en cuenta parámetros de propagación u obstrucción, tales como los fenómenos atmosféricos.

Es necesario utilizar mediciones precisas, valores aproximados basados en datos estadísticos, considerar las etapas y estrategias cuyo objetivo es garantizar la calidad y la disponibilidad del servicio ofrecido.

En cuanto a los errores de diseño se encuentra el subdimensionamiento del sistema. Un ejemplo típico es cuando no se tiene en cuenta futuras expansiones: al aumentar la capacidad del enlace se deja de satisfacer las condiciones de calidad y disponibilidad.

Si se sobrecarga el enlace a sus parámetros establecidos, es necesario realizar modificaciones tales como: sustitución de los equipos lo cual provocaría una interrupción del servicio. Esto llevaría pérdidas del servicio y gastos en equipos adicionales.

Al momento de instalación de los equipos hay que tener en cuenta su respectiva integración apegándose a los estándares respectivamente de cada equipo, un mal desempeño en la ejecución creará pérdidas de calidad a futuros, de otra manera podría causar daños severos en los equipos de radio o que se quemen, llevando a la sustitución de estos causando gastos adicionales.

4.6 Diseño de la red VLAN

Haciendo uso del software Cisco Packet Tracer 8.1.1 se realizó la red VLAN de tres sectores de Ciudad el Doral.

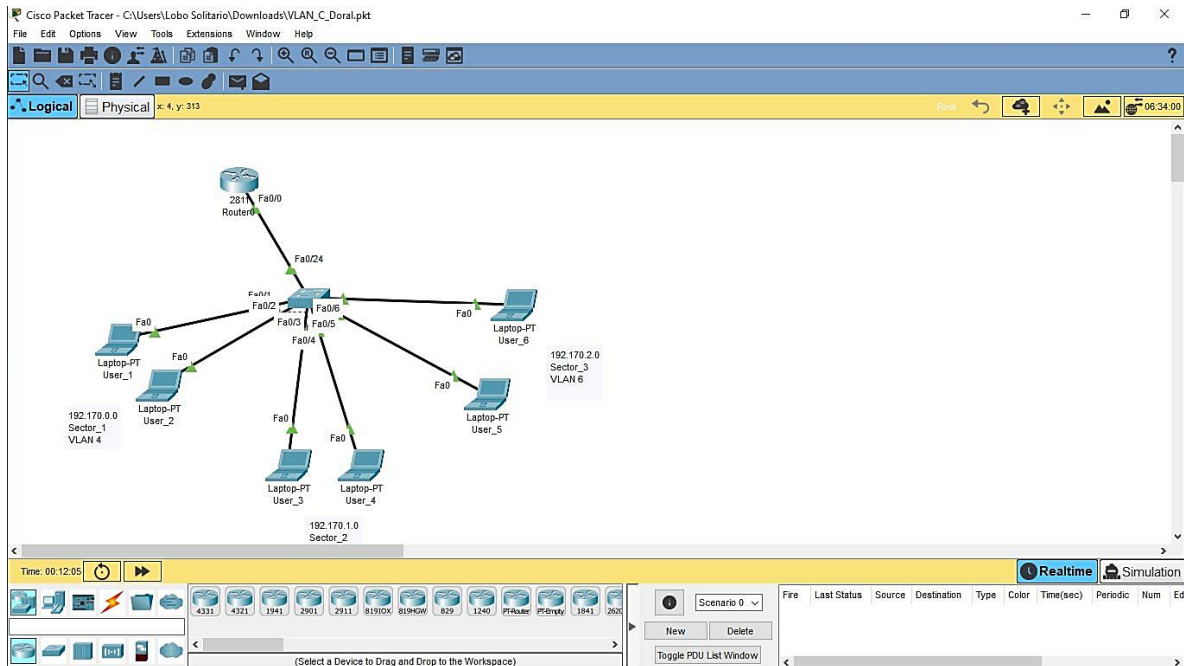


Ilustración 66 Red VLAN

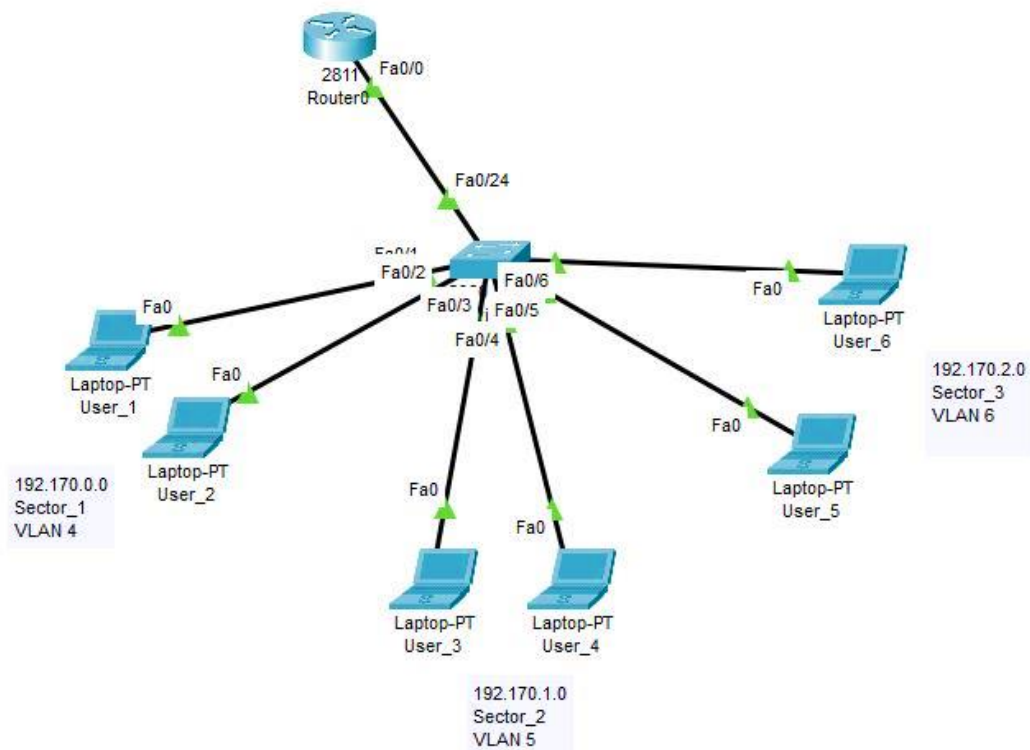


Ilustración 67 Conexiones de Red VLAN

El sector_1 se toma la VLAN 4 porque todas las interfaces del switch vienen configuradas en la VLAN 1. Existen switches que por defecto traen configuradas varias VLAN, por eso se toma la VLAN 4 suponiendo que es la VLAN 1.

Configuraciones de las direcciones IP para el sector_1

Port Status Summary Table for User_1				
Device Name: User_1				
Device Model: Laptop-PT				
Port	Link	IP Address	IPv6 Address	MAC Address
FastEthernet0	Up	192.170.0.1/24	<not set>	0060.2F87.471C
Bluetooth	Down	<not set>	<not set>	0001.42DC.CCC7
Gateway: 192.170.0.3				
DNS Server: <not set>				
Line Number: <not set>				
Physical Location: Intercity > Home City > Corporate Office > User_1				

Ilustración 68 Usuario_1

Port Status Summary Table for User_2				
Device Name: User_2				
Device Model: Laptop-PT				
Port	Link	IP Address	IPv6 Address	MAC Address
FastEthernet0	Up	192.170.0.2/24	<not set>	0002.1611.12C6
Bluetooth	Down	<not set>	<not set>	00D0.589E.CA22
Gateway: 192.170.0.3				
DNS Server: <not set>				
Line Number: <not set>				
Physical Location: Intercity > Home City > Corporate Office > User_2				

Ilustración 69 Usuario_2

Configuraciones de las direcciones IP para el sector_2

Port Status Summary Table for User_3

Device Name: User_3				
Device Model: Laptop-PT				
Port	Link	IP Address	IPv6 Address	MAC Address
FastEthernet0	Up	192.170.1.1/24	<not set>	00E0.F9B0.96B2
Bluetooth	Down	<not set>	<not set>	0006.2A9B.1501
Gateway: 192.170.1.3				
DNS Server: <not set>				
Line Number: <not set>				
Physical Location: Intercity > Home City > Corporate Office > User_3				

Ilustración 70 Usuario_3

Port Status Summary Table for User_4

Device Name: User_4				
Device Model: Laptop-PT				
Port	Link	IP Address	IPv6 Address	MAC Address
FastEthernet0	Up	192.170.1.2/24	<not set>	0050.0F26.98B5
Bluetooth	Down	<not set>	<not set>	0001.965E.0A52
Gateway: 192.170.1.3				
DNS Server: <not set>				
Line Number: <not set>				
Physical Location: Intercity > Home City > Corporate Office > User_4				

Ilustración 71 Usuario_4

Configuración de las direcciones IP para el sector_3

Port Status Summary Table for User_5

Device Name: User_5				
Device Model: Laptop-PT				
Port	Link	IP Address	IPv6 Address	MAC Address
FastEthernet0	Up	192.170.2.1/24	<not set>	00E0.F96D.D809
Bluetooth	Down	<not set>	<not set>	0090.2B8B.D159
Gateway: 192.170.2.3				
DNS Server: <not set>				
Line Number: <not set>				
Physical Location: Intercity > Home City > Corporate Office > User_5				

Ilustración 72 Usuario_5

Port Status Summary Table for User_6

Device Name: User_6				
Device Model: Laptop-PT				
Port	Link	IP Address	IPv6 Address	MAC Address
FastEthernet0	Up	192.170.2.2/24	<not set>	000D.BD39.45CA
Bluetooth	Down	<not set>	<not set>	000A.414D.415A
Gateway: 192.170.2.3				
DNS Server: <not set>				
Line Number: <not set>				
Physical Location: Intercity > Home City > Corporate Office > User_6				

Ilustración 73 Usuario_6

Resultados de la simulación en el envío de paquetes entre las VLAN.

PDU List Window

Fire	Last Status	Source	Destination	Type	Color	Time(sec)	Periodic	Num	Edit	Delete
	Successful	User_1	User_3	ICMP		0.000	N	0	(edit)	(delete)
	Successful	User_1	User_4	ICMP		0.000	N	1	(edit)	(delete)
	Successful	User_2	User_3	ICMP		0.000	N	2	(edit)	(delete)
	Successful	User_2	User_4	ICMP		0.000	N	3	(edit)	(delete)
	Successful	User_1	User_5	ICMP		0.000	N	4	(edit)	(delete)
	Successful	User_1	User_6	ICMP		0.000	N	5	(edit)	(delete)
	Successful	User_6	User_1	ICMP		0.000	N	6	(edit)	(delete)
	Successful	User_5	User_2	ICMP		0.000	N	7	(edit)	(delete)
	Successful	User_3	User_6	ICMP		0.000	N	8	(edit)	(delete)
	Successful	User_4	User_5	ICMP		0.000	N	9	(edit)	(delete)
	Successful	User_3	User_5	ICMP		0.000	N	10	(edit)	(delete)

Ilustración 74 Envío de PDU

La ilustración 74 nos muestra que hay comunicación entre las interfaces de cada VLAN.

4.7 Topología de Red PTMP

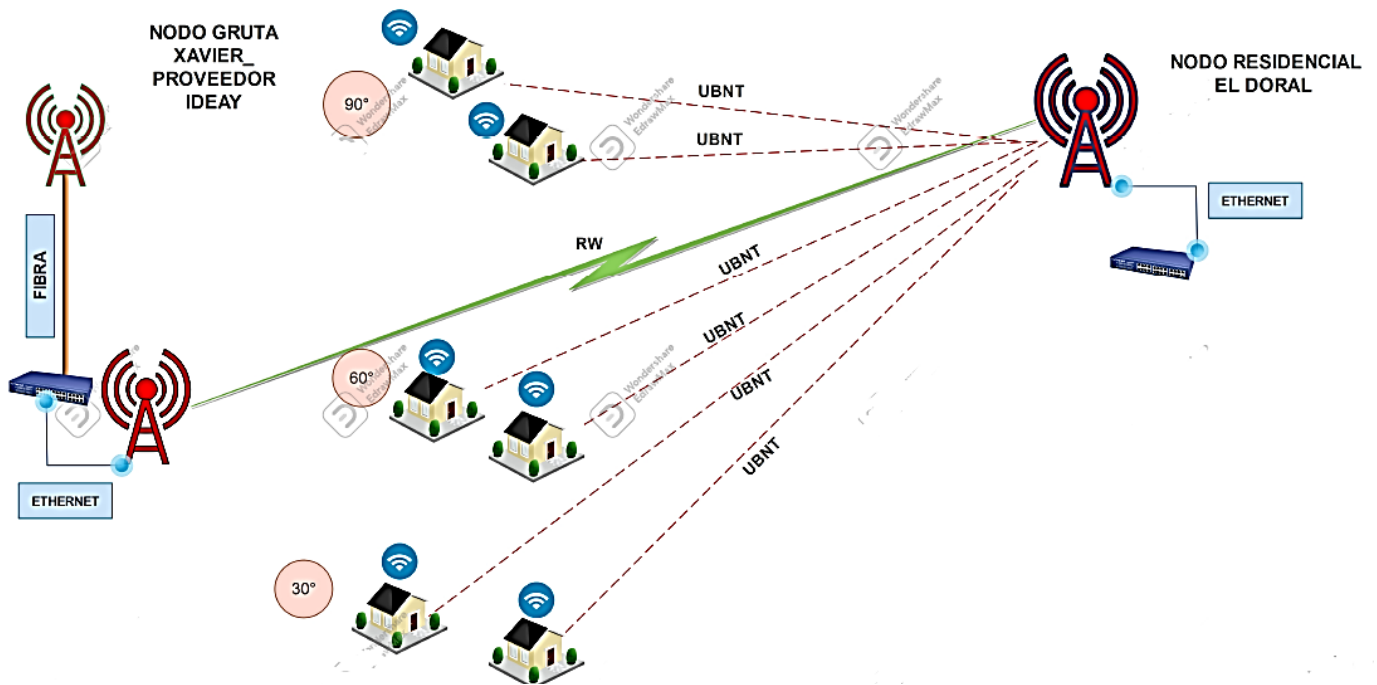


Ilustración 75 Topología Red PTMP

Para la realización de la topología de red PTP Y PTMP se hizo uso del software Wondershare EdrawMax.

4.8 Análisis de costo

Requerimientos para el nodo Gruta Xavier

Suministro de Radio Radwin 2000D+	1 unid.
Cable de Red UTP Cat 6 para exteriores	26 mts
Conectores RJ-45 Blindado	2 unid.
Switch Edge Point S16	1 unid.
PDU para gabinete	1 unid.
Gabinete 12 RU para Pared	1 unid.

Requerimientos para nodo Ciudad Doral

Suministro de Radio Radwin 2000D+	1 unid.
Cable de Red UTP Cat 6 para exteriores	26 mts
Conectores RJ-45 Blindado	2 unid.

Switch Edge Point S16	1 unid.
PDU para gabinete	1
Rack vertical 7X19 45U	1
Organizadores de cables	2
Patch Panel 24 puertos	1

Requerimientos para la red PTMP

Suministro de antena sectorial AirPrism de 90°	1
Radio 5AC Prism	3
PowerBeam 5AC	5

Caja de cable de Red STP Cat 6 (1 unidad)	
Suscriptor_1	12 mts
Suscriptor_2	12 mts
Suscriptor_3	12 mts
Suscriptor_4	12 mts
Suscriptor_5	12 mts
Conectores RJ45	10
Modem NEXXT	5
Patch Cords 3ft UTP Cat 6	5
UPS Forza 500 VA (Baterías de respaldo)	5

Nota: Las casas de Ciudad el Doral miden alrededor de 6 mts, por lo tanto, se toma en consideración la altura de 10ft donde estará ubicado el radio UBIQUITI 5AC sumándole la reserva de cable que equivale a 12 mts de cable de red por usuario.

Tabla de presupuesto

No Ítem	Materiales	Unidades	Precio Unitario	Total
1	Carrucha de Cable de Red UTP Cat 6 para exteriores	1	C\$4,850.70	C\$4,850.70
2	Caja de Cable de Red STP Cat 6	1	C\$9,775	C\$9,775
3	Suministro de Conectores RJ-45	20	C\$7.38	C\$147.6
4	Suministro de Conectores RJ-45 Blindado	10	C\$30	C\$300
5	Suministro Rack vertical 7X19 45U	1	C\$4,887.50	C\$4,887.50
6	Suministro e Instalación de Gabinete 12 RU para Pared	1	C\$8,752.35	C\$8,752.35
7	Suministro de PDU para gabinete	2	C\$3,339.25	C\$6,678.50
8	Suministro e Instalación de Patch Cords 3 Ft UTP Cat6 para gabinetes	10	C\$128.30	C\$1,283
9	Suministro e Instalación de UPS Forza 500 VA (Baterías de respaldo)	6	C\$1,404.24	C\$8,425.44
10	Suministro e Instalación de Patch Panel 24 puertos	1	C\$1,265.40	C\$1,265.40
11	Suministro e Instalación de Organizadores de cables	2	C\$1,236.24	C\$2,472.48
12	Suministro de Radio Radwin 2000D+	2	C\$20,926.79	C\$41,853.58
13	Suministro de Antena sectorial AirPrism de 90°	1	C\$18,665.90	C\$18,665.90
14	Suministro de Radio 5AC Prism	3	C\$8,371.41	C\$25,114.23
15	Suministro de Radio PowerBeam 5AC	5	C\$5,683.84	C\$28,419.2

16	Suministro de Switch Radwin IDU-C	2	C\$24,430.91	C\$48,861.82
17	Suministro de Modem NEXXT	5	C\$1,479	C\$7,395
			Total	C\$219,147.62

Conclusiones

- Se realizó una investigación sobre los conceptos básicos de ondas, propagaciones, entre otros, lo cual son necesarios para poder comprender las telecomunicaciones.
- Se planteó la formulación matemática para la solución de los cálculos del radio enlace.
- Se hizo uso de las herramientas computacionales Radio Mobile y Google Earth para el diseño un sistema de comunicaciones punto a punto como el enlace troncal, entre la Gruta Xavier y el Residencial Ciudad Doral del cual se obtuvo como resultado un enlace óptimo para poder proveer internet al Residencial C. Doral. Se realizaron simulaciones de enlaces PTMP para poder abarcar toda la zona con el servicio de internet.
- Se diseñaron las redes VLAN del enlace PTMP por medio del software Cisco Packet Tracer 8.1.1 para la segmentación de los sectores 1, 2 y 3.
- Se elaboró un presupuesto de los equipos y accesorios necesarios para la realización de los enlaces.
- Se abarcaron las ventajas y desventajas que se obtienen al proveer servicios de internet por medio de enlaces a través, de radio frecuencia en frecuencias microondas.
- El estudio y diseño de simulación de una red punto multipunto para proveer servicios de internet, se elaboró para dar lugar a una propuesta asequible a zonas residenciales, donde todavía no cuentan con un servicio para cubrir la demanda de los usuarios.

Recomendaciones

Al diseñar la red punto multipunto cabe decir que el proyecto se centra en Ciudad el Doral, por lo tanto, se decidió optar por una antena de 90° que cubre la zona requerida, pero en la realización de este enlace con implementación a futuro surgen necesidades para la ampliación del servicio.

- Tener en cuenta construcciones a futuros en casa de los clientes, estas construcciones podrían ser una obstrucción para otros usuarios al momento de realizar un enlace al radio master, por consiguiente, en estos casos se requerirá añadir más altura a la torre para obtener línea de vista.
- En instalaciones de nuevos usuarios que se encuentren fuera del rango de los 90° se le podrá otorgar el servicio a través de un enlace punto a punto con equipos PowerBeam 5AC.
- Como es una zona rural los enlaces no se limitan solo dentro de Ciudad el Doral, existen empresas o clientes potenciales fuera de la zona Residencial que pretendan requerir del servicio, por lo tanto, es factible poder brindarles una conexión a través de enlace punto a punto con equipos de mayor alcance como los RocketM5.
- Al contar con un sistema eléctrico de respaldo como lo es el banco de baterías es recomendable tener una planta eléctrica que abastezca al menos de 4 a 6 horas más los radios en caso de que no haya retornado la energía comercial.

Referencias

[1] Carlos Aburto Cruz (2018) *Aplicación de técnicas de transmisión digital para el diseño de radioenlaces PTP en bandas libres utilizando la herramienta Pathloss 5.0*

[2] Juárez Blandón, Vivas Blandón, José Antonio (2017) *Diseño de radio enlace multipunto para proporcionar internet a 5 escuelas del municipio Wiwili – Nueva Segovia.*

Albornoz, J. M. (2007). *Radioenlaces Digitales*. Académica Española.

Andreotti, J. I. (21 de Agosto de 2015). *Consultor de Telecomunicaciones y Electricidad (CTE)*.
Obtenido de https://ingenieroandreotti.blogspot.com/2015/08/que-es-el-ber-bit-error-rate_21.html?m=1

Bava, J. A. (2013). *Antenas Reflectoras en microondas*. Argentina: Universidad de la Plata.

Buettrich, S. (23 de Abril de 2006). *mmtk_wireless_radio_link_calculation*. Obtenido de http://www.itrainonline.org/itrainonline/mmtk/wireless_en/07_Radio_Link_Calculations/07_en_mmtk_wireless_radio-link_slides.pdf

Castillo, E., Castillo, P., Sotomayor, M., Gozales, L., & Centeno, E. (2014). *Aplicaciones y Teoría de Ingeniería de Microondas*. Peru: Iniciativa Latinoamericana de Libros de Textos Abiertos (LATIn).

Cisco. (25 de Agosto de 2006). *Cisco*. Obtenido de <https://www.cisco.com/c/en/us/support/docs/lan-switching/8021q/17056-741-4.html>

electromagnética, O. (12 de Enero de 2022). *Significados.com*. Obtenido de <https://www.significados.com/onda-electromagnetica/>

Fernandez, L. (09 de Agosto de 2020). *Redes zone*. Obtenido de <https://www.redeszone.net/tutoriales/redes-cable/configurar-enlace-troncal-switch/>

Freeman, R. L. (1998). *Telecommunications transmission handbook 4th edición*. New York: A Wiley-Interscience publication.

Hernández, C. (31 de Agosto de 2010). *SciELO*. Obtenido de http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-62302011000200012

López Bonilla, J. L. (2017). Modelo de Propagación. *Nova Scientia Vol 9*, 83-96 (86).

Manual, R. 2. (s.f.). *manualslib*. Obtenido de <https://www.manualslib.com/manual/1548094/Radwin-2000.html?page=25#manual>

Martínez, J. L. (13 de Julio de 2018). *Prored*. Obtenido de <https://www.prored.es/zonas-de-fresnel-en-un-radioenlace/>

Network, C. (2022). *Cambium LINKPlanner*. Obtenido de <http://linkplanner.cambiumnetworks.com/doc/index.html>

Nicaragua, A. N. (18 de Agosto de 1995). *Ley General de Telecomunicaciones y Servicios Postales*. Obtenido de

[http://legislacion.asamblea.gob.ni/Normaweb.nsf/\(\\$All\)/E19D0A4FF53C43320625715A00587598?OpenDocument](http://legislacion.asamblea.gob.ni/Normaweb.nsf/($All)/E19D0A4FF53C43320625715A00587598?OpenDocument)

Perez Porto, J., & Merino, M. (2017). *Definición.DE*. Obtenido de <https://definicion.de/vlan/>

Plata, N. (15 de Enero de 2011). *comunicacionesupc*. Obtenido de <https://comunicacionesupc.wordpress.com/2011/01/15/bandas-de-frecuencias-no-licenciadas/>

Ruesca, P. (25 de Septiembre de 2016). *Radio Comunicaciones*. Obtenido de <http://www.radiocomunicaciones.net/radio/radio-enlace-que-es-un-radioenlace/>

Schrader, R. (20 de Noviembre de 2021). *eHow en Español*. Obtenido de https://www.ehowenespanol.com/convertir-hora-militar-hora-comun-como_63593/

Tomasi, W. (2013). *Sistemas De Comunicaciones Electrónicas, Cuarta Edición*. Pearson Educación.

XI-Cuatrimestre, I. (Junio de 2017). *Administración de recurso informatico*. Obtenido de <https://recursoinformatico.weebly.com/uploads/1/0/7/3/107381475/snr.pdf>

Anexos

Imágenes de trabajo de campo



Imagen 1 Nodo Gruta Xavier



Imagen 2 Nodo Gruta Xavier_Torre ventada



Imagen 3 Instalación Radio Radwin



Imagen 4 Ordenando nodo



Imagen 5 Alineación Rocket M5



Imagen 7 Data Center1



Imagen 6 Servidores



Imagen 8 Data center2



Imagen 9 Gabinete ZTE



Imagen 10 Inspección Nodo panorama



Imagen 11 Mantenimiento Nodo Mombacho