



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación

**“ELABORACIÓN DE GUÍA TÉCNICA PARA EL DISEÑO E
INSTALACIÓN DE RADIOENLACES P2P SOBRE
SUPERFICIES MARÍTIMAS A MEDIANAS DISTANCIAS”**

INFORME DE PROYECTO INTEGRADOR

Previo la obtención del Título de:

INGENIERA EN ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES

KAREN NATALY OCHOA OCHOA

JOSÉ ANTONIO PALOMINOS CHACÓN

GUAYAQUIL – ECUADOR

AÑO: 2018

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, le agradezco a Dios por la vida y por cada oportunidad que me ha dado. Les agradezco al Ing. César Yépez MSC., Ing. Washington Medina MSC., quienes guiaron la ejecución de este proyecto integrador. A mis padres por su amor y sus enseñanzas, gracias a ellos he cumplido mis sueños más anhelados; mi hermana por escucharme y ser mi mejor amiga. A Bryan Puerto por su paciencia y su amor, por acompañarme en cada amanecida y por siempre brindarme su ayuda

KAREN NATALY OCHOA OCHOA

AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo le agradezco infinitamente a mi madre, ya que gracias a su esfuerzo y apoyo pude culminar mis estudios en esta prestigiosa universidad, la cual me ha brindado tantas oportunidades para así enriquecerme de conocimiento. De la misma manera agradezco a mi hermana por haber estado conmigo en momentos difíciles, ofreciéndome de alguna manera aliento para seguir con mis proyectos y así llevarlos a cabo de manera gratificante. A mi abuela por haber sido el primer pilar en mi niñez y haber fomentado en mí el hábito del estudio. Finalmente, de manera especial, agradezco a mi tutor de tesis el Ing. César Yépez MSC. y a mi profesor de este proyecto integrador Ing. Washington Medina MSC., por habernos guiado durante la ejecución de este proyecto integrador

JOSE ANTONIO PALOMINOS CHACON

DEDICATORIA

El presente proyecto se lo dedico principalmente a Dios, por darme la fuerza para continuar en este proceso de obtener uno de los anhelos más deseados.

A mis padres, Arturo Ochoa y Gloria Ochoa, por su amor, su confianza y su esfuerzo, gracias a ustedes he logrado llegar hasta aquí y convertirme en lo que soy. Mi hermana Ariana Ochoa por estar presente en cada paso que doy, gracias por el apoyo incondicional que siempre me has brindado. Mi abuelita Elia Chóez por sus enseñanzas y estar siempre al pendiente de mi.

A mi prometido Bryan Puerro por ser un apoyo incondicional, por saber entenderme y nunca dejar que me dé por vencida.

KAREN NATALY OCHOA OCHOA

DEDICATORIA

Este proyecto está dedicado a:

A Dios, por inspirarme a estudiar y dame fuerzas para no rendirme en los momentos de debilidad y finalizar este proceso académico que he anhelado por mucho tiempo.

A mi madre Gloria Beatriz Chacón, que ha sido madre y padre casi toda mi vida, que con amor, trabajo y sacrificio he llegado hasta aquí hasta obtener mi título profesional lo cual le agradeceré toda la vida.

A mi hermana Paula Estefanía Palominos, a pesar de nuestras diferencias ideológicas y peleas de hermanos, siempre hemos estado juntos en las buenas y en las malas.

A mi difunto padre Guillermo Palominos y hermano Sergio Campoverde, que a pesar de no estar presentes, su recuerdo de superación siempre me alentaron a seguir adelante.

JOSE ANTONIO PALOMINOS CHACON

DECLARACIÓN EXPRESA

" La responsabilidad y la autoría del contenido de este Trabajo de Titulación, nos corresponde exclusivamente; y damos nuestro consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual"

Karen Nataly Ochoa Ochoa

José Antonio Palominos Chacón

RESUMEN

El presente proyecto tiene por objetivo elaborar un manual técnico para implementar enlaces P2P sobre superficies marítimas, incluyendo un detalle de las indicaciones desde que se plantea el enlace en un software simulador hasta la implementación física del mismo. Adicional se va a monitorear el tráfico de red, para indicar los problemas que pueden ocurrir en la transmisión y recepción de la señal y como se puede mejorar la calidad del radioenlace, con el fin de proveer un servicio estable, confiable y que el cliente se sienta satisfecho con el trabajo desarrollado

Se debe considerar los fenómenos ocurrentes durante la transmisión de ondas electromagnéticas sobre superficies marítimas y como mitigar estos problemas. El desarrollo de esta guía técnica se ha planteado para establecer un enlace desde una región costera hacia una isla lejana en la cual los servicios de telecomunicaciones son escasos y debido a la demanda actual de acceso a la red de internet que es muy sustancial, se propone como solución implementar un enlace inalámbrico P2P brindado por el SAI llevar servicios de telecomunicaciones a estas regiones aledañas.

Palabras Claves: Radioenlaces, SAI, tráfico de red.

ABSTRACT

The objective of this project is to elaborate a technical manual to implement P2P links on maritime surfaces, including a detail of the indications from the moment the link is proposed in a simulator software to its physical implementation.

Additional network traffic will be monitored to indicate the problems that may occur in the transmission and reception of the signal and how to improve the quality of the radio link, to provide a stable service, reliable and that the customer is satisfied with the work developed.

We must consider the phenomena that occur during the transmission of electromagnetic waves on maritime surfaces and how to mitigate these problems.

The development of this technical guide has been proposed to establish a link from a coastal region to a distant island in which telecommunications services are scarce and due to the current demand for access to the Internet network which is very substantial, it is proposed as a solution to implement a P2P wireless link provided by the UPS to bring telecommunications services to these surrounding regions.

Keywords: Radio Links, SAI, network traffic.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	I
ABSTRACT.....	II
ÍNDICE GENERAL.....	VIII
ABREVIATURAS.....	V
ÍNDICE DE FIGURAS.....	VI
ÍNDICE DE TABLAS.....	VIII
CAPÍTULO 1.....	1
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	1
1.2. JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA	3
1.3. OBJETIVOS.....	3
1.3.1. <i>Objetivo General</i>	3
1.3.2. <i>Objetivos Específicos</i>	3
1.4. ESTADO DEL ARTE	4
1.5. ALCANCE	6
1.6. METODOLOGÍA	6
CAPÍTULO 2.....	9
2. MARCO TEÓRICO.....	9
2.1. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE RADIOENLACE.....	9
2.2. PROPAGACIÓN.....	26
2.3. SOFTWARE PARA SIMULAR RADIOENLACES.	35
2.4. MONITOREO DE RED EN UN RADIOENLACE.....	38
CAPÍTULO 3.....	41
3. DISEÑO METODOLÓGICO	41
3.1. RADIO MOBILE.....	45
3.2. EQUIPOS PARA IMPLEMENTACIÓN DE RADIOENLACE P2P.....	47
3.3. PRTG – SOFTWARE DE MONITOREO.....	54
CAPÍTULO 4.....	56

4. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	56
4.1. DEVICE CARABELAS ROCKET PRISM AC.....	56
4.2. DEVICE PUNA ROCKET PRISM AC.....	59
4.3. FACTORES REALES RELACIONADOS AL ENLACE.....	61
CONCLUSIONES	66
RECOMENDACIONES	67
BIBLIOGRAFÍA	68

ABREVIATURAS

ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
P2P	(Point to point) Punto a punto
SAI	Servicio de Acceso a Internet
LOS	(Line of sight) Línea de Vista
WAN	(Wide Area Network) Red de área amplia
RF	Radio Frecuencia
TX	Transmisor
RX	Receptor
INOCAR	Instituto Oceanográfico de la Armada

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Diafragma de Irradiación de antenas. (Rodríguez, s.f.)	110
Figura 2.2 Diafragma normalizado 2D. (Madrid, s.f.)	11
Figura 2.3 Antena dipolo de media onda. (Fundación Wikipedia, 2018)	12
Figura 2.4 Antena Uda-Yagi. (Cordoví Rodríguez, Jiménez Hernández, García Alcala, & Molina Puerto, s.f.)	13
Figura 2.5 Geometría de una Antena Helicoidal. (ANTENNA-THEORY.com, s.f.)	13
Figura 2.6 (Bhattacharya, Joarder, Nag, & Debnath, 2010).....	14
Figura 2.7 Antena Parabólica	15
Figura 2.8 Antena Tipo Bocina. (Fundación Wikimedia, 2017).....	15
Figura 2.9 Antenas planas. (SELSAT, 2014).....	16
Figura 2.10 Arreglo de parches microstrip, programa Ansys.....	16
Figura 2.11 Antenas activas y adaptativas. (Agrupaciones de antenas (Arrays)).....	17
Figura 2.12 Cable Coaxial (Cable Coaxial: Tipos y Características, 2018)	18
Figura 2.13 Cable par trenzado.	19
Figura 2.14 Tomado de los productos de la empresa Shenzhen SihanmingTechnology Co., Ltd.....	21
Figura 2.15 Cancelación de Fase (Hang, 2016)	22
Figura 2.16 Perfil de un radioenlace, primera zona de fresnel (Ramos F. , s.f.).....	243
Figura 2.17 Zonas de fresnel (Hang, 2016)	2324
Figura 2.18 Primera zona de Fresnel, con al menos 60% libre de obstrucción (Hang, 2016)	24
Figura 2.19 Fenómeno de Absorción de las ondas electromagnéticas. (Carlos Alberto Vila Burguete, 2005).....	2627
Figura 2.20 Refracción de una Onda Electromagnética. (Vela, 2015).....	26
Figura 2.21 Reflexión de una Onda Electromagnética. (Vela, 2015).....	27
Figura 2.22 Difracción de ondas electromagnéticas.....	27
Figura 2.23 Interferencia de Ondas Electromagnéticas.....	28
Figura 2.24 Tabla de predicciones para el modelo Okumura. (Cortés, 2003)	31
Figura 2.25 (¿Cómo se forman las olas? Comprendiendo la predicción de olas, 2015).....	32
Figura 2.26 Simulaciones de Radio Mobile. (Radio Mobile - software de simulación de propagación de RF, s.f.)	34

Figura 2.27 Ingreso de coordenadas para el radioenlace. (Escobar, SPLAT GUI - 1.2, 2012)	35
Figura 2.28 Simulador de cobertura radioelétrica. (Ramos F. , s.f.)	35
Figura 3.1 Simulación de la zona de fresnel de Carabelas a Puná.	420
Figura 3.2 Sensor de Recepción de la señal de antena transmisora	41
Figura 3.3 Sensor de Recepción de la señal de antena receptora	431
Figura 3.4 Armado de la Antena Parabólica	442
Figura 3.5 Buscar cual será la posición correcta con ayuda de la brújula	442
Figura 3.6 Instalación de antena transmisora en dirección correcta hacia antena receptora.	43
Figura 3.7 Ejemplo de enlace P2P de Radio-Mobile de Playas a Puná.	44
Figura 3.8 Accesorios incluidos dentro del producto RP-5AC-Gen 2	46
Figura 3.9 Antena Rocket Prism 5AC	47
Figura 3.10 PoE Adapters. (Ubiquiti, s.f.)	48
Figura 3.11 Antena tipo plato RocketDish	49
Figura 3.12 Accesorios incluidos dentro del producto RocketDish RD-5G34	49
Figura 3.13 Ilustración de un enlace con las antenas RocketDish y suministro de servicios a varias áreas.	51
Figura 3.14 Software PRTG en diferentes dispositivos donde se puede monitorear la red. (PAESSLER, PRTG supervisa toda su infraestructura de TI, s.f.)	53
Figura 4.1 Capacidad de Enlace Ascendente.....	54
Figura 4.2 Capacidad de Enlace Descendente	55
Figura 4.3 Informe de Nivel Rx	55
Figura 4.4 Informe para el CINR.....	56
Figura 4.5 Informe para LAN Puná.....	56
Figura 4.6 Informe de Nivel Rx.....	57
Figura 4.7 Informe para el CINR.....	57
Figura 4.8 Informe para LAN Carabelas.....	58
Figura 4.9 Relación entre el nivel Rx del enlace y la temperatura del mar	60
Figura 4.10 Datos tomados del INOCAR- Gráfico de marea de Posorja.....	61
Figura 4.11 Señal Rx del enlace desde Carabelas.....	62
Figura 4.12 Señal Rx del enlace desde 28/Dic/2018 hasta 7/Ene/2019	653

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Categorías De Cables. (Fundación Wikimedia, Inc., 2018)	200
Tabla 3.1 Datos Principales Introducidos En Radio Mobile	447
Tabla 4.1 Consideraciones Para La Calidad De La Red Según La Señal Rx.	62
Tabla 4.2 Horario Estadístico Asignado A La Calidad Del Enlace Según La Señal Rx.	63

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

El presente proyecto integrador se refiere a la elaboración de una guía técnica para el diseño e instalación de radioenlaces sobre superficies marítimas, que une dos puntos permitiendo conexión mediante ondas electromagnéticas.

Un radioenlace es un medio de comunicación inalámbrico, que permite la transmisión de información de manera full dúplex entre portadoras, ofreciendo grandes ventajas para el usuario final tales como:

- Capacidad de transmitir grandes capacidades de datos precios
- Bajo costo de implementación
- Instalación inmediata y sencilla
- Capaces de soportar alteraciones que el terreno pueda presentar permitiendo variación de localización de las antenas transmisoras y receptoras.

A su vez existen factores que afectan la propagación de las ondas de radio tales como reflexiones sobre el agua, efecto de las olas y mareas y las humedades relativas del aire.

La investigación de este diseño se desarrollará por la actual importancia que es tener acceso a tecnologías de la información y comunicación; siendo así un aporte para el crecimiento de ciertos sectores ya sea en el ámbito comercial o educativo.

1.1. Descripción del Problema

Hoy en día comunicarse a grandes distancias es posible debido a la red de internet que se ha vuelto indispensable para el hombre, esto se puede facilitar por medio de los diferentes sistemas inalámbricos que existen tales como: telefonía móvil, redes de datos inalámbricas, televisión digital terrestre o radio enlaces punto a punto.

Un enlace punto a punto o radioenlace es una conexión que existe entre los terminales del emisor-receptor de equipos de telecomunicaciones a través de ondas electromagnéticas. Se define al enlace como un servicio fijo entre dos

puntos localizados en la superficie terrestre, los enlaces se pueden llevar a cabo entre el siguiente rango de frecuencias desde los 800 MHz hasta 42 GHz, poseen una comunicación full dúplex en la cual se transmiten dos portadoras una para la transmisión y otra para recepción de la señal. Este tipo de servicio es escaso en ciertos sectores tales como Islas pobladas que se encuentren cercanas a la región costera y que estén fuera de cobertura de un SAI; ya que el radio enlace se llevará a cabo en superficies marítimas y por ende se presentarán fenómenos que afectan las señales electromagnéticas.

Las reflexiones que se presentan en superficies marítimas son una de las principales causas de inconvenientes al momento de realizar una implementación de radioenlace, ya que provoca una reflexión de un rayo que tiene las mismas características que el original (amplitud), y éste llega en contrafase. Hay que considerar que mientras más conductor sea la superficie donde se llevará a cabo la conexión P2P, mayor fuerza de reflexión tendrá el rayo irradiado, además que, debido a la gran distancia entre los terminales, la curvatura de la Tierra se la considera dentro de los cálculos, porque mientras más curvado es, mayores serán las reflexiones que existan en la propagación de las ondas.

El efecto de las olas y mareas es un factor que también produce una afectación al radioenlace puesto que la superficie es dinámica, por lo que cuando existe un cambio periódico del nivel del mar se produce una variación en la superficie del terreno, lo que ocasiona que las alturas de las antenas que conforman el radioenlace estén continuamente cambiando de posición al igual que el rayo reflejado, obteniendo como resultado en ciertos momentos un rayo reflejado con efectos constructivos y en otros momentos con efectos destructivos.

Otro factor que produce afectación a un radioenlace es la humedad relativa del aire siendo ésta causada por los gases producidos por el mar y el cambio de climático.

Este factor dependerá únicamente de la posición donde se encuentren ubicadas las antenas sobre la superficie marítima, pues mientras menor sea la altura de

éstas, existirá mayor concentración de partículas en suspensión produciendo una fuerte atenuación en la señal.

1.2. Justificación del Problema

A medida que han pasado los años hemos sido testigos de cómo el internet se ha convertido en una prioridad a la hora de comunicarse o realizar investigaciones reduciendo costo, tiempo y distancia. Cada vez son más las personas que requieren tener el servicio de acceso a internet, por este motivo se requiere una infraestructura de buena calidad y servicio.

El servicio de acceso a internet es una gran oportunidad para acercar zonas rurales donde existan sectores comerciales, educativos, para que tengan acceso a la tecnología y puedan estar comunicados con el mundo exterior.

En este sentido la Constitución de la República del Ecuador, indica que todas las personas tienen derecho al acceso de tecnologías de la Información y comunicación. [1]

Por lo tanto, un radioenlace es considerado un medio inalámbrico factible para la comunicación, debido a que brinda al usuario final acceso a tecnologías de la información en sectores comerciales, educativos, etc., ofreciendo un servicio seguro, abarcando grandes distancias con transmisión full dúplex, precios exequibles, instalación rápida y sencilla, permite que exista variación de las posiciones de las antenas a través de un software libre para ver cuál es la mejor línea de vista para el radioenlace.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

Elaborar una guía técnica con consideraciones para el diseño e implementación de enlaces P2P sobre superficies marítimas.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Investigar y estudiar diferentes modelos de propagación existentes sobre superficies marítimas.

- Definir los equipos y componentes necesarios para implementación del enlace P2P.
- Diseñar el enlace P2P considerando los requerimientos de LOS y zonas de Fresnel en un software libre.
- Implementar un enlace P2P sobre el mar abierto de acuerdo con el manual técnico de instalación.
- Analizar los resultados obtenidos
- Elaborar guía para el diseño e instalación de enlaces P2P sobre superficies marítimas.

1.4. Estado del Arte

Gracias a los avances tecnológicos y a la necesidad de interconectar todos los lugares posibles con internet; se ha dado la necesidad de implementar sistemas de comunicaciones de largo alcance ya sea inalámbrica, o alámbricamente e incluso usando la tendencia actual de la fibra, pero que debido a los grandes costos de enlaces ópticos y cableado a largas distancias, la única alternativa para conectar ciertas zonas en medio de territorios marítimos será por enlaces inalámbricos P2P, que desde hace varios años se ha venido diseñando y estudiando, pero su implementación no llega a ser confiable en muchos casos debido a los problemas ya descritos; lo cual basándonos en tesis ya realizadas y proyectos llevados a cabo en otros países nos servirán como referencias futuras para plantear nuestro proyecto integrador con el objetivo de lograr diseñar una guía muy compacta, como ayuda se detallarán los siguientes casos que ya analizan la situación:

En la Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, en un seminario de graduación elaboraron un estudio llamado 'Diseño de interconexión para enlace de microondas punto a punto entre las comunidades de San Carlos y el archipiélago de Solentiname'; en la cual el enlace atraviesa gran parte de territorio marítimo desde la parte Costera de San Carlos en donde se encontraba el SAI, hasta aproximadamente 27 Km en el Archipiélago de Solentiname; incorporando todos los cálculos necesarios para llevar a cabo el enlace, así como el diagnóstico respectivo de los datos conseguidos en la implementación simulada con todos los equipos y materiales que llegarían a ser usados pero dicho proyecto quedó solo en estudios y no se efectuó el enlace P2P.

En la universidad Pontificia Católica del Ecuador, como proyecto en la Rama de Maestría en Redes y Comunicaciones desarrollaron un análisis técnico del Sistema de Red Inalámbrica para el Ingala en Galápagos'; en la cual proponen optimizar la red actual que conecta todas las islas de la Región Insular del Ecuador, lo cual la mayor parte de los enlaces se encuentran encima de territorios marítimos para interconectar las islas considerando todas las dificultades técnicas para establecer los enlaces con todos los cálculos necesarios para la optimización de la red; incluyendo los análisis de costos de implementación de todos los equipos y materiales, concluyendo exitosa su optimización pero hasta la actualidad no ha sido implementado dicha propuesta en la región Insular del Ecuador.

Como parte de una monografía en la Universidad Andina 'Néstor Cáceres Velásquez' del Perú realizaron un proyecto de implementación para establecer un enlace P2P desde Juliaca ubicada en la provincia de Román hasta el distrito Capachica ubicada en la región Puno, como parte de una solución para establecer comunicaciones en puestos de salud ubicado en Capachica, lo cual diseñaron e implementaron el enlace con todos los cálculos de propagación, considerando que gran parte de la trayectoria inalámbrica se encuentra encima del lago Titicaca, con una distancia entre los equipos de transmisión y recepción de 34.26 Km; además de realizar un análisis técnico y económico presentando todos los equipos necesarios y descripción de todos los materiales a usarse.

En América Latina y el Caribe, se llevó a cabo un proyecto llamado Tricalcar lo cual desarrollaba soluciones tecnológicas enfocadas a redes inalámbricas para conectar zonas rurales en países como Perú, Colombia, Ecuador, Venezuela y Bolivia; lo cual dentro de sus repositorios se encuentran diferentes casos de estudios para enlaces a largas distancias, en la cual nos muestran las herramientas necesarias para implementar dichos enlaces y como llevar a cabo las alineaciones de las antenas, incluyendo los materiales y pasos a seguir para un óptimo puesto de trabajo además de indicar los equipos que se pueden usar para la medición de la transmisión y recepción de los datos y lograr conseguir el mejor enlace que sea posible.

En la Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación de la Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL - Ecuador); se realizó un análisis y diseño de la red WAN para las Islas Galápagos mediante Radioenlace P2P de banda ancha, desarrollado como proyecto de grado en la cual propusieron una nueva estructura de red además de desarrollar un análisis económico que permita determinar el valor de proyecto presentado; incluyendo el diseño de red y la estructura de todo el sistema en la isla Galápagos considerando que los enlaces inalámbricos entre las islas más alejadas dependerán mucho de la optimización de la misma debido a la trayectorias marítimas largas que son muy consideradas para obtener un enlace estable y confiable.

1.5. Alcance

En el presente proyecto se pretende dar a conocer el servicio de radioenlaces P2P sobre superficies marítimas, que por medio de un buen diseño y estudio se puede llegar a obtener enlaces estables.

Para el desarrollo del proyecto se llevará a cabo una implementación de un enlace P2P que se realizará desde el cantón General Villamil Playas hasta el Sur de la Isla Puná, lo cual va a reflejar las ventajas y desventajas de orden técnico para establecer una comunicación de este tipo.

Con la información que se obtendrá del estudio e implementación del enlace se realizará un diseño de guía de instalación de radioenlaces sobre superficies marítimas el cual abarcará únicamente en establecer el enlace más no los servicios que éste puede ofrecer.

1.6. Metodología

Se deberá realizar un estudio sobre los fenómenos intervienen en la propagación de ondas sobre superficies marítimas. En este tipo de radioenlaces se presentarán ciertas fallas en la transmisión y recepción de la señal, debido a algunos factores que se detallarán a continuación:

- Interferencia ocasionada por el agua salada debido a que posee un alto grado de conductancia.
- Humedad relativa del aire
- Nivel de marea
- Reflexiones de las olas del mar

Y otros factores climáticos que estarán siempre presentes en el medio de propagación; para lo cual se estudiarán modelos de propagación que sirvan para los cálculos de atenuación que sufrirán las ondas electromagnéticas en el medio, con distancias medianas entre 40 a 100 Km.

Se detallarán características indispensables que los equipos deban tener para este tipo de enlaces, en donde la estabilidad de la señal puede ser inestable; así mismo se colocarán materiales necesarios para la implementación de un sistema de enlace inalámbrico brindando una asistencia paso a paso, incluyendo los inconvenientes que puedan presentarse y como lograr solucionarlos.

Para llegar a obtener un buen enlace, se recomienda que altura es la indicada para la colocación de las antenas, transmisora y receptora ya sea encima de grandes edificios que existan en la ciudad o en cerros donde sea posible conectar los equipos RF; explicando además todas las condiciones físicas que debe existir entre los equipos de transmisión y recepción.

Con el uso de programas ya existentes en la red, se pueden simular enlaces inalámbricos colocando equipos RF en las coordenadas correspondientes, haciendo que estos softwares sean útiles para este tipo de proyectos ya que antes de implementarlos se procede a simular el diseño; por lo cual se dará a conocer detalladamente cómo funciona el software y como ingresar los parámetros de los equipos que se simularán finalizando con los análisis de resultados necesarios que el software nos mostrará.

Se incluirá en el proyecto integrador, la implementación de un enlace inalámbrico como parte de la confiabilidad del estudio realizado y demostración de que la guía técnica es de gran ayuda para el usuario que requiera el servicio, en este caso para un enlace punto a punto desde General Villamil Playas hasta el sur de la Isla

Puna, aproximadamente a unos 43 Km; lo cual se ha tomado como riesgo dicho sistema para lograr tomar todos los datos y desarrollar la problemática en la ejecución de un proyecto de enlace inalámbrico sobre la superficie marítima, además se presentarán simulaciones realizadas para la ejecución del enlace, así como también todos los datos adquiridos en las pruebas radiales ejecutadas luego de la implementación.

Se demostrará que el desarrollo del manual será satisfactorio a través del enlace inalámbrico implementado. Se justificará los procesos llevados a cabo para este proyecto, así como presentar todos los riesgos que ocurran en la implementación, junto con todas las recomendaciones que se requieran, y presentando la aplicación de nuestro sistema ejecutado que dependerá del rendimiento de la señal obtenida.

CAPÍTULO 2

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Descripción del Sistema de Radioenlace

Para que un sistema de comunicación que se transmite por medio de un radioenlace sea eficiente se debe de tener a consideración varios parámetros tales como: equipos de radio que se vayan a utilizar en la implementación que cubran las necesidades del cliente, que tipo de antena será la más adecuada ya que deben estar bien alineadas para una buena transmisión y recepción de la señal, tener una correcta planificación del radioenlace e identificar que frecuencias libres de interferencias existen para elegir el canal.

Una planificación de un radioenlace tendrá resultados positivos siempre y cuando se empiece realizando cálculos del balance de potencias. Es por esto que existe la importancia de conocer en que banda de frecuencia libre de interferencia se va a trabajar, cuáles son las condiciones climáticas en la zona donde se llevará acabo la implementación, y cuáles son las características técnicas de los equipos que se van a utilizar.

Si se desea que un enlace P2P sea factible se debe considerar algunos factores como es una línea de vista entre las antenas receptoras y transmisoras sin embargo esto no garantiza la calidad del radioenlace, zona de Fresnel que esté libre de obstrucción

2.1.1. Factores para la implementación de un Radioenlace.

Cuando se requiere implementar un radioenlace, se necesita considerar algunos factores tales como:

- **LOS:** La línea de vista es el trayecto que une los focos de las antenas transmisoras y receptoras, sin obstrucciones para que exista una buena propagación de las señales RF.
- **Altura de las antenas Tx y Rx:** Es muy importante que las antenas se instalen a una altura adecuada para que no exista obstrucción en la línea de vista y no se vea afectada la calidad del enlace.
- **Pruebas:** Antes de llevar a cabo la implementación, es necesario realizar una simulación del sistema colocando las coordenadas donde se

- instalará el radioenlace para poder asegurar que la señal que se vaya a transmitir sea receptada.
- **Nivel de señal:** Cuando ya se ha establecido los lugares en donde se llevará a cabo la implementación del radioenlace, se procede a realizar un presupuesto de enlace para poder comparar el nivel de la señal teórico con el nivel de señal recibido. La sensibilidad del dispositivo receptor se considera un parámetro de suma importancia ya que es la señal mínima que se requiere en el enlace para obtener una buena calidad en la recepción de la señal.

2.1.2. Elementos que conforman un radioenlace

Para una implementación de un sistema de radioenlace, el sistema debe estar constituido por diferentes dispositivos tales como: antenas, cables, conectores, mástil.

Por lo cual, se dará una breve descripción de los componentes que conforman el enlace.

2.1.2.1. Antenas

La antena es un elemento físico que funciona como un transductor, transformando una energía en forma de señal eléctrica hacia otra energía en forma de onda electromagnética y viceversa.

Antes de continuar con los diferentes tipos de antenas, es necesario conocer los términos técnicos más usados para describir el funcionamiento de una antena y que serán los parámetros que caracterizan a cada antena:

Ancho de banda: Es un margen de frecuencia en la cual la antena operará bajo ciertas características.

Directividad: Se define directividad a la relación que existe entre la densidad de potencia radiada en cierta orientación, a una distancia, y la densidad de potencia que radiaría una antena isotrópica a la misma distancia.

Para apreciar este parámetro, por lo general se presenta por medio de un diagrama de radiación, permitiendo conocer el tipo de

directividad que posee un patrón de radiación como se presenta a continuación en la figura 2.1:



Figura 2.1 Diafragma de Irradiación de antenas. [2]

Ganancia: Es la amplificación de la señal que genera una antena hacia una potencia radiada en la dirección de propagación máxima. Se conoce además que la ganancia de una antena se representa directamente por la eficiencia que presenta dicha antena y la directividad que posee. En donde Eff será la eficiencia efectiva de la antena.

$$Ganancia = Eff \times Directividad \quad (2.1)$$

Impedancia de entrada: Se trata de la impedancia que posee una antena en la frecuencia de operación entre sus terminales. La impedancia en una antena tiene su parte real denominada resistencia y su parte imaginaria denominada reactancia originando una impedancia compleja. Una antena se llama resonante cuando su reactancia es cero, considerando además que será óptimo su frecuencia de operación en dicho punto.

Ancho de haz: (HPBW) Este parámetro está ligado al diagrama de radiación que posee la antena, considerado el ancho angular en la cual la potencia máxima de radiación se reduce 3 dB tal y como se muestra en la figura 2.2. Se puede definir que entre mayor será la directividad, el HPBW será más estrecho.

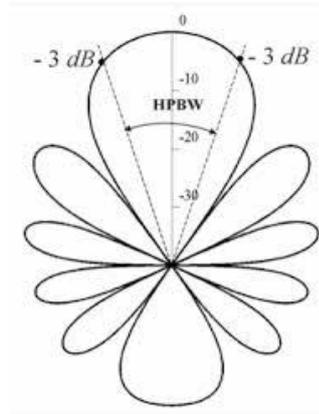


Figura 2.2 Diafragma normalizado 2D. [3]

Hay una cantidad significativa de antenas hoy en día, lo cual dependen de la aplicación a usarse. El uso para dar a cada antena se verá afectado por sus potencias, cobertura a la mayor cantidad de usuarios posible en una zona, o para establecer un enlace P2P siendo necesario que la antena sea direccional canalizando la potencia y no causar ni provocar interferencia en otros servicios inalámbricos.

Las dimensiones de la antena se relacionan directamente con la longitud de onda representada como λ , que depende de la frecuencia a la que operará dicho enlace siendo en ciertos casos múltiplos o submúltiplos de λ . Por esta ocasión se conoce que mientras mayor es la frecuencia de operación, la antena que se utilizará será más pequeña.

$$\lambda = \frac{c}{f} \text{ en donde aproximadamente } c=3 \times 10^8 \quad (2.2)$$

Longitud de la antena $\rightarrow \quad l = n \times \frac{\lambda}{2} \quad \text{donde } n= 1,2,3,4,5 \dots$
 (2.3)

Como se dio a conocer antes, el diseño de cada antena dependerá de su aplicación y banda de frecuencia presentando varias características significativas dando origen a una gran variedad de antenas, siendo las siguientes antenas los más conocidos.

2.1.2.1.1. Antenas de Hilo

Estos tipos de antenas se caracterizan porque están formados con hilos conductores en la cual la corriente atraviesa por estas y dan origen a los campos electromagnéticos radiados.

La forma de los hilos son varios, pudiendo ser hilos rectos, espirales o hélices.

Las antenas Dipolo: son las más comunes en este tipo siendo particularmente de hilos rectos llegando a ser a la vez la más sencilla y fácil ya sea en su diseño, construcción e implementación en un sistema de comunicación.

La dimensión por lo general es de media longitud de onda a su frecuencia de operación, lo cual es cortado a la mitad y en su centro es colocado la línea de transmisión tal y como se puede visualizar en la figura 2.3.

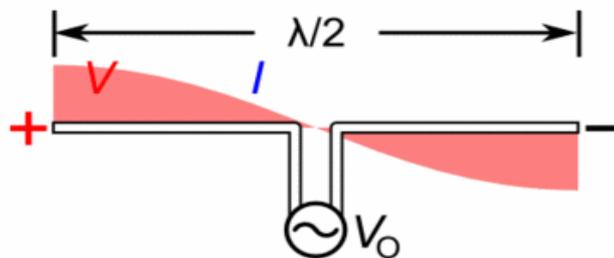


Figura 2.3 Antena dipolo de media onda. [4]

Dentro de la familia de los dipolos, se tiene la antena Yagi (figura 2.4), que está formado por un dipolo, añadiendo varios elementos como un reflector y varios directores para generar una forma direccional en su propagación.

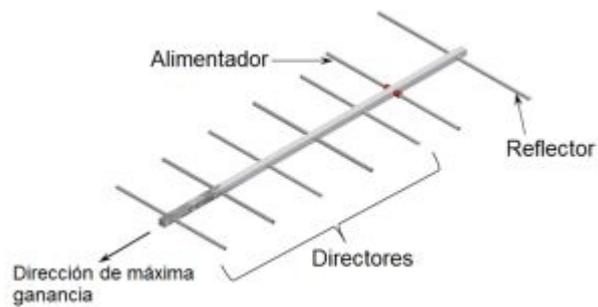


Figura 2.4 Antena Uda-Yagi. [5]

Siguiendo con la familia de las antenas dipolos, tenemos la antena helicoidal, usada por lo general para sistemas de comunicaciones de banda ancha; lo cual el hilo conductor es construido sobre un cilindro de diámetro constante generando un patrón de radiación más directiva lo cual se visualiza de la siguiente forma en la figura 2.5:

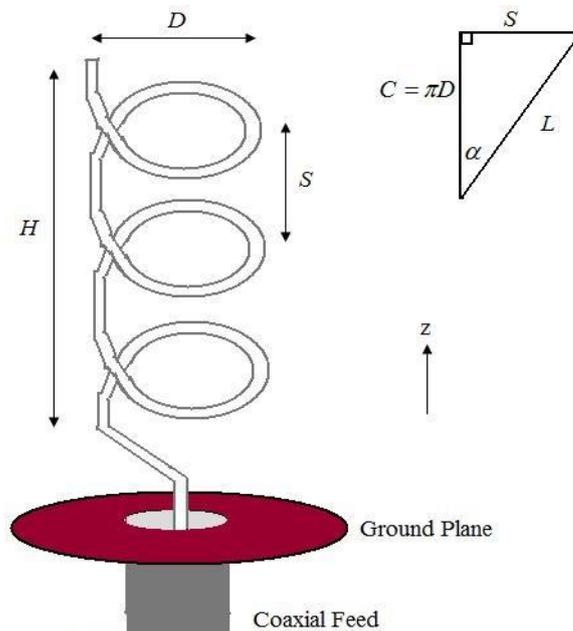


Figura 2.5 Geometría de una Antena Helicoidal. [6]

A esta familia se tiene la antena logoperiódica (figura 2.6), llevando un parecido con las antenas yagi con la diferencia que dichas antenas están estructuradas con varios alambres dipolos entrelazados y conectados a una línea de alimentación en

común; lo cual dicha antena opera en varias bandas de frecuencia usada en aplicaciones donde el cambio de los canales de frecuencia es regular, por ejemplo, en aplicaciones militares.

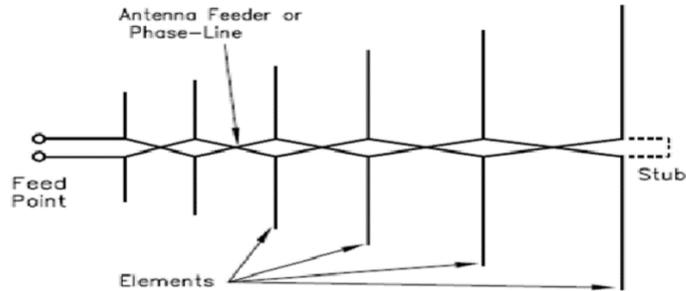


Figura 2.6 [7]

2.1.2.1.2. Antenas de Apertura

En este tipo de antenas tenemos las conocidas como las parabólicas y tipo bocina, que se caracterizan por tener un haz de la señal directiva debido al uso de superficies o aperturas propias del cuerpo de la antena en la cual se distribuye el campo electromagnético consiguiendo la onda radiada, y que por lo general su alimentación es mediante guía de onda.

Las antenas parabólicas debido a las buenas propiedades matemáticas de la curvatura de la parábola y el uso de un reflector ya sea para captar ondas en el espacio o enviar, razón por la cual son muy directiva y poseen una gran ganancia siendo estas las que tienen más ganancias dentro de todas las antenas y que por lo general son usadas para enlaces inalámbricos P2P a grandes distancias y también para enlaces satelitales normalmente operando a frecuencias altas, éste tipo de antenas lo podemos apreciar en la figura 2.7.

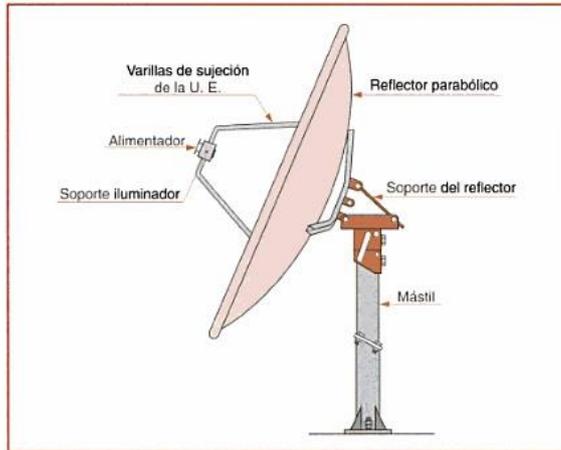


Figura 2.7 Antena Parabólica

Adicional dentro de esta familia tenemos las antenas tipo bocina (figura 2.8), en la cual la mayoría de estas operan en frecuencias microondas, su forma es parecido a un megáfono de sonido y por lo general se conectan a una guía de onda en su alimentación unido a una antena dipolo o monopolo que se encargan de transmitir la señal y la bocina es el cuerpo físico generando gran directividad hacia donde apunte el bozal.

Estas antenas son muy usadas para rastreo aéreo ya sea en aplicaciones militares o rastreo de aviones en aeropuertos; en la cual poseen un arreglo de varias antenas tipo bocina.

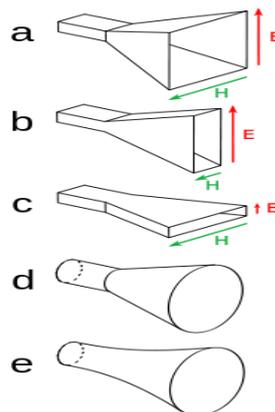


Figura 2.8 Antena Tipo Bocina. [8]

2.1.2.1.3. Antenas Planas

Las antenas planas (figura 2.9), están construido por varios parches planos como lo indica su nombre llamados normalmente

microstrip (figura 2.10) y conectados a un circuito que se encarga de distribuir la señal dependiendo del tipo de arreglo y aplicación a usarse. Por lo general son laminados de cobre sobre algún tipo de sustrato dieléctrico que dependiendo de las dimensiones y del tipo de material operarán a ciertos rangos de frecuencia.

La ventaja en el uso de estas antenas es la fácil integración a un sistema físico de comunicación debido a su tecnología plana reduciendo considerablemente el tamaño y peso de un equipo en comparación con otros tipos de antenas; pero su desventaja en algunos casos es que poseen un ancho de banda estrecho, aunque en la actualidad existen métodos para solucionar estos problemas.



Figura 2.9 Antenas planas. [9]

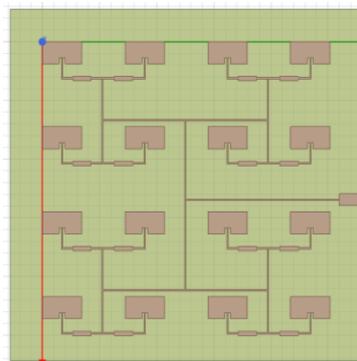


Figura 2.10 Arreglo de parches microstrip, programa Ansys.

2.1.2.1.4.

Arrays

Un array es un tipo de antena particular, conformado por numerosos radiadores electromagnéticos que, para obtener algún patrón de radiación solicitado generalmente se los ordena entre sí y son alimentados hacia un circuito para el posterior procesamiento de las señales eléctricas. Los arrays son recurridos debido a que en muchas aplicaciones es imposible conseguir alguna característica de radiación particular y con una sola antena no se puede lograr lo solicitado, razón por la cual se opta por el arreglo de varias antenas obteniendo una mayor eficiencia y flexibilidad, como por ejemplo se puede ver en la figura 2.11 que es un arreglo de antenas.



Radar LANZA 3D

Figura 2.11 Antenas activas y adaptativas. [10]

2.1.2.2. Cables

Los cables son el medio de transporte de las señales eléctricas hacia los equipos de transmisión o recepción en el tema de radiocomunicaciones, lo cual deben ser muy considerados ya que dependiendo de la calidad y el tipo pueden existir pérdidas lo cual la señal se vería afectada en dicho sistema. Siempre es recomendado buscar el mejor cable para implementar un enlace para reducir

interferencia y problemas de transmisión de paquetes en el caso de datos.

2.1.2.2.1. Cable Coaxial

El cable coaxial es uno de los más usados en sistemas de telecomunicaciones ya sea analógicos o digitales, debido a su económico costo, fácil instalación, etc. Está conformado por dos conductores aislados mediante un dieléctrico, siendo el primer conductor un alambre situado por el núcleo y en la cual la señal eléctrica es transmitida, y el segundo conductor se trata de una lámina de aluminio sobre el dieléctrico que protege el núcleo en la cual ayuda a proteger la señal de interferencia ya sea como ruido o distorsiones de señales eléctricas de otros cables adyacentes tal y como se puede visualizar en la figura 2.12. La parte externa se encuentra protegida por una cubierta de plástico o goma dependiendo de la calidad del cable adquirido resguarda la humedad, rayos solares e interferencias electromagnéticas externas.



Figura 2.12 Cable Coaxial [11]

2.1.2.2.2. Cable de par trenzado

Para sistemas de telecomunicaciones, este tipo de cables están conformados por dos conductores eléctricos entrelazados entre sí, cada uno aislado con una cubierta plástica (figura 2.13), que gracias al entrelazado se puede reducir las interferencias

ocasionadas por fuentes externas o perturbaciones originadas por cables adyacentes.

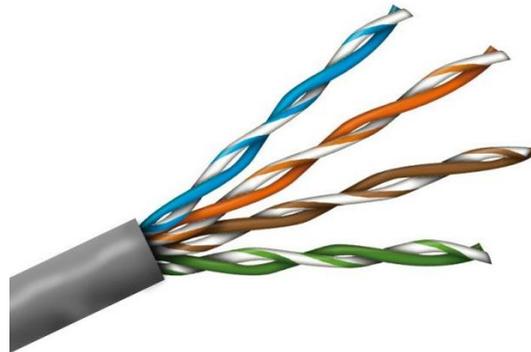


Figura 2.13 Cable par trenzado.

Por lo general vienen en paquetes de varios pares con diferentes colores para identificar cada cable, y el número de pares dependerá de la aplicación a la cual se le dará uso. También dependiendo de la aplicación a usarse y la velocidad de transmisión que requiera algún sistema de comunicación se ha clasificado al cable en varias categorías tal y como se muestra en la tabla 2.1.

Tabla 2.1 Categorías de Cables. [12]

Categoría	Ancho de banda (MHz)	Aplicaciones	Notas
Cat. 1		Líneas telefónicas y módem de banda ancha.	No descrito en las recomendaciones del EIA/TIA. No es adecuado para sistemas modernos.
Cat. 2	4 CG CANDE	Cable para conexión de antiguos terminales como el IBM 3270.	No descrito en las recomendaciones del EIA/TIA. No es adecuado para sistemas modernos.
Cat. 3	16 MHz Clase C	10BASE-T and 100BASE-T4 Ethernet	Descrito en la norma EIA/TIA-568. No es adecuado para transmisión de datos mayor a 16 Mbit/s. Usado en telefonía.
Cat. 4	20 MHz	16 Mbit/s Token Ring	No es usado comúnmente.
Cat. 5	100 MHz Clase	10BASE-T y 100BASE-	Usado en conexiones

	D	TX Ethernet	Ethernet entre dispositivos de red
Cat. 5e	100 MHz Clase D	100BASE-TX y 1000BASE-T Ethernet	Mejora del cable de Categoría 5.
Cat. 6	250 MHz Clase E	1000BASE-T Ethernet	Transmite a 1000Mbps. Cable más comúnmente instalado en Finlandia según la norma SFS-EN 50173-1.
Cat. 6a	250 MHz (500MHz según otras fuentes) Clase E	10GBASE-T Ethernet	Estándar mejorado probado a 500 MHz. Puede extenderse hasta 100 metros. Estandarizado según las normas ISO/IEC 11801, segunda edición (2008) y ANSI/TIA-568-C.1 (2009).
Cat. 7	600 MHz Clase F	Para servicios de telefonía, Televisión por cable y Ethernet 1000BASE-T en el mismo cable.	Cable blindado bajo estándar ISO/IEC 11801, pero no reconocido por EIA/TIA.
Cat. 7a	1000 MHz Clase F	Para servicios de telefonía, Televisión por cable y Ethernet 1000BASE-T en el mismo cable.	Cable S/FTP (pares blindados, cable blindado trenzado) de 4 pares, bajo el estándar ISO/IEC 11801, pero no reconocido por EIA/TIA.
Cat. 8	1200 MHz	40 GBASE-T Ethernet o 1000BASE-T para servicios de telefonía, Televisión por cable y Ethernet en el mismo cable.	Cable S/FTP (pares blindados, cable blindado trenzado) de 4 pares. Descrito por las normas ANSI/TIA-568-C.2-1 e ISO/IEC 11801-1:2017
Cat. 9	25000 MHz	Norma en creación por la UE.	Cable S/FTP (pares blindados, cable blindado trenzado) de 8 pares con Mylar y poliamida.
Cat. 10	75000 MHz	Norma en creación por la G.E.R.A (RELATIONSHIP BETWEEN COMPANIES ANONYMA G) e IEEE.	Cable S/FTP (pares blindados, cable blindado trenzado) de 8 pares con Mylar y poliamida.

2.1.2.3. Conectores

Los conectores son los dispositivos de interconexión entre el medio de transmisión de una señal ya sea eléctrica u óptica hacia los equipos que intervienen en el sistema de comunicación, colocados por lo general en los extremos del cableado. Los conectores al igual

que cualquier elemento que intervienen en el sistema presenta cierta perdida en la señal ya sea de transmisión o recepción, la cual se recomienda conectores de alta calidad y que sean bien ponchados a los cables y correctamente conectados en los equipos respectivos. Los conectores variaran dependiendo del tipo del cable que se usen, y de las entradas que tengan los equipos a usarse, existen diferentes tipos de conectores tal y como se puede apreciar en la figura 2.14.



Figura 2.14 Tomado de los productos de la empresa Shenzhen SihanmingTechnology Co., Ltd.

2.1.3. Cancelación de Fase

Con lo expuesto anteriormente se debe tener en cuenta que el hecho de tener línea de vista en un diseño de radioenlace no garantiza que la calidad de la señal transmitida y recibida sea la adecuado. Esto se debe a la directividad de las antenas, en este caso para la implementación del radioenlace se utilizará antenas tipo parabólicas, por lo que gran parte de la energía de la señal va a tender a apuntar en dirección recta desde la antena Tx hasta la antena Rx, el inconveniente que se presenta es cuando una parte de ésta energía no apunta en dirección a la antena receptora, por lo que se puede presentar dos casos, la señal transmitida no encuentra ningún obstáculo y logra dispersarse hasta que se disipe, o existe el caso de que pueda chocarse con la superficie marítima lo que va a causar una reflexión del rayo irradiado el cual va a ocasionar una interferencia destructiva con la señal que se está transmitiendo en línea recta, debido a que el rayo llega en contrafase que la señal original,

causando pérdidas en la potencia de la señal que llega al receptor, en la figura 2.15 se puede apreciar como ocurre la cancelación de fase.

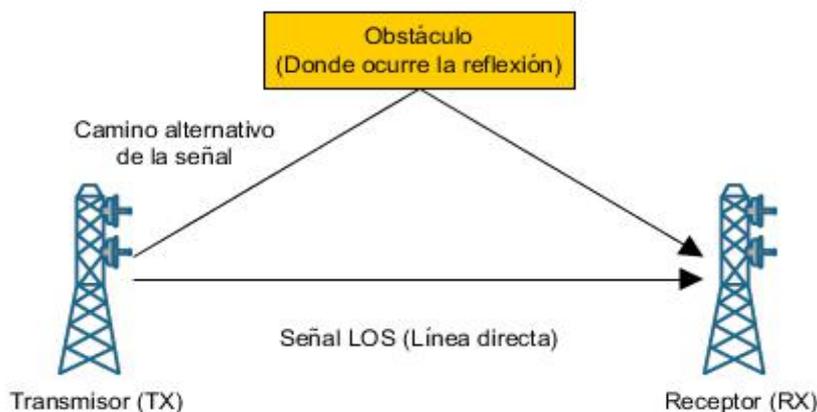


Figura 2.15 Cancelación de Fase [13]

2.1.4. Zona de Fresnel

Para la implementación de un radioenlace es indispensable que exista Línea de Vista (Line of Sight, LOS), ya que se pueden producir pérdidas en la transmisión y recepción de la señal. Debido a este tipo de pérdida que es producido por la obstrucción del enlace radioeléctrico (Non Line Of Sight, NLOS) se presenta el concepto denominado Zona de Fresnel.

Las zonas de fresnel tienen forma elipsoidal concéntricas las cuales se encuentran presentes alrededor del rayo irradiado que va desde donde se encuentra ubicada la antena transmisora hacia la antena receptora [14].

Posee característica de que la onda electromagnética que se origina en la antena transmisora se verá reflejada sobre la superficie del elipsoide y posterior ocurre una incidencia sobre la antena receptora, obteniendo así una distancia mayor a la distancia recorrida por el rayo reflejado en múltiplos de media longitud de onda. Por lo que la onda electromagnética reflejada va a llegar con un desfase múltiplo de 180° con respecto al rayo irradiado.

La primera zona de fresnel comprende hasta que la fase llegue a 180° , la misma que adquiere una forma de un elipsoide de revolución [15], durante el diseño e implementación del radioenlace se debe asegurar que la primera zona de fresnel se encuentra libre de obstáculos, esto se puede garantizar cuando la posición donde se encuentran las antenas son lo suficientemente

altas ya que si se obstruye completamente la zona de fresnel van a existir pérdidas en la señal. [16]

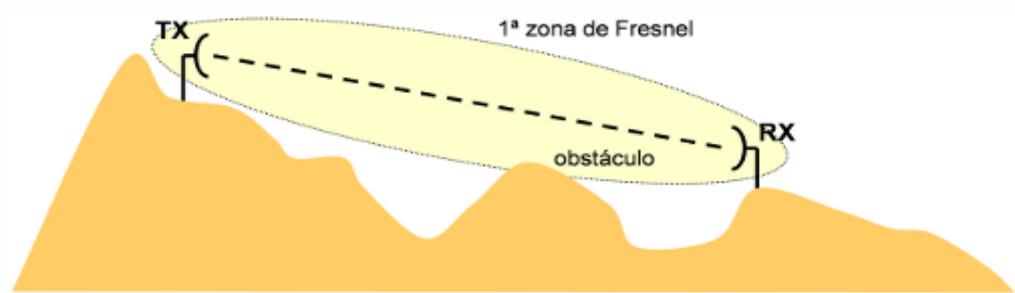


Figura 2.16 Perfil de un radioenlace, primera zona de fresnel [14]

En la Figura 2.16. se puede visualizar un radioenlace junto con la primera zona de fresnel para poder divisar si existe algún obstáculo, para que se pueda establecer la zona de fresnel en primer lugar se debe determinar LOS la cual se define como la línea en dirección recta que une la antena transmisora con la antena receptora.

Si se requiere saber el cual es el valor del radio de la zona de fresnel se puede utilizar la siguiente expresión:

$$R_n = \sqrt{\lambda \frac{d_1 d_2}{d_1 + d_2}} \quad (2.4)$$

En donde d_1 y d_2 son las distancias de las antenas transmisoras y receptoras, λ es la longitud de onda de la señal electromagnética que depende de la frecuencia en que se vaya a trabajar y R_n es el radio de fresnel que se quiera calcular.



Figura 2.17 Zonas de fresnel [13]

En la Figura 2.17 se puede visualizar las zonas de fresnel, la zona que se encuentra más interna es la primera zona de fresnel seguida de la segunda zona, y la tercera zona vendría a ser el elipsoide exterior. Para que exista una buena señal de transmisión de radioenlace se toma a consideración la primera zona de fresnel ya que ésta debe estar completamente libre de obstrucción al menos un 60% desde el enlace de la antena transmisora hacia la receptora hasta el borde de la primera zona de fresnel tal y como se muestra en la figura 2.18.

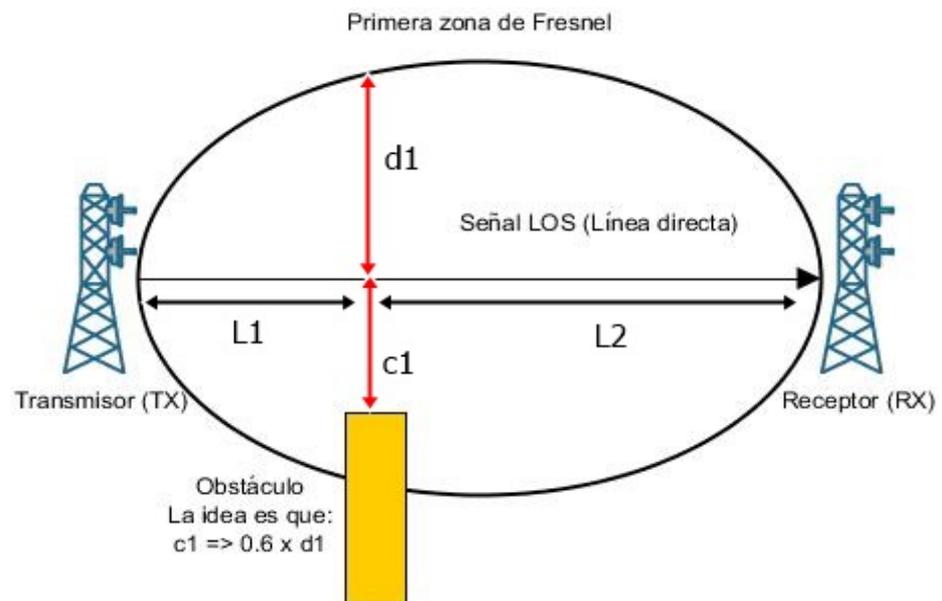


Figura 2.18 Primera zona de Fresnel, con al menos 60% libre de obstrucción [13]

En radioenlaces que superen los 40 Km se debe considerar la curvatura de la tierra como obstrucción en los cálculos para hallar la zona de fresnel ya que puede ocasionar pérdida en la señal. El motivo es que a mayor distancia que se encuentren las antenas de transmisión y recepción, mayor será el radio de la zona de fresnel, por lo que es importante considerar las alturas de las antenas para evitar inconvenientes en el diseño del radioenlace y que la señal electromagnética tenga mayor propagación de potencia.

2.2. Propagación

Se refiere a generar y conducir ondas electromagnéticas que se originan desde la antena transmisora hacia la antena receptora que es capaz de lograr captar la señal transmitida.

La propagación de ondas electromagnéticas la mayoría de las veces son consideradas en el vacío por lo que se la conoce como propagación del espacio libre, es decir que no se consideran ningún tipo de pérdidas de la atmósfera.

Las ondas electromagnéticas pueden propagarse de mejor manera en materiales dieléctricos e inclusive el aire, esto no sucede en medios conductores como son superficies marítimas ya que los campos eléctricos existentes provocan que se originen corrientes que fluyen a través del material provocando una disipación rápida en la energía de las ondas. [17]

2.1.5. Fenómenos de la Propagación

Existen ciertos fenómenos que afectan a la propagación de ondas tales como:

- **Atenuación:** fenómeno que tiende a afectar la calidad de la señal electromagnética debido a la distancia ya que ésta tiende a alejarse de la fuente. Cuando las ondas electromagnéticas se van separando entre sí, disminuye por unidad de área la cantidad de ondas, lo que quiere decir que la onda disminuye la densidad de potencia siempre que la distancia vaya incrementando. Es por este motivo que se recomienda utilizar en los radioenlaces amplificadores o repetidores.
- **Absorción:** fenómeno causado por la atmósfera terrestre debido a que el aire no es un medio que se encuentre en el vacío, por lo que está conformado de moléculas de diferentes sustancias y átomos; en el instante en que la onda electromagnética se propaga por el aire, ésta transfiere parte de su energía a las moléculas y átomos, se puede apreciar este fenómeno de propagación en la figura 2.19.

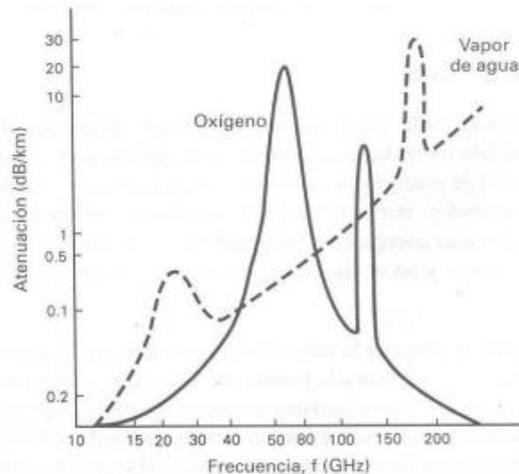


Figura 2.19 Fenómeno de Absorción de las ondas electromagnéticas. [17]

- **Refracción:** Tal y como se muestra en la figura 2.20 la refracción se produce cuando una onda electromagnética cambia de sentido y se traspasa de un medio a otro con velocidad diferente. La velocidad de propagación de una onda electromagnética es inversamente proporcional a la densidad del medio en el que se propaga. [18]

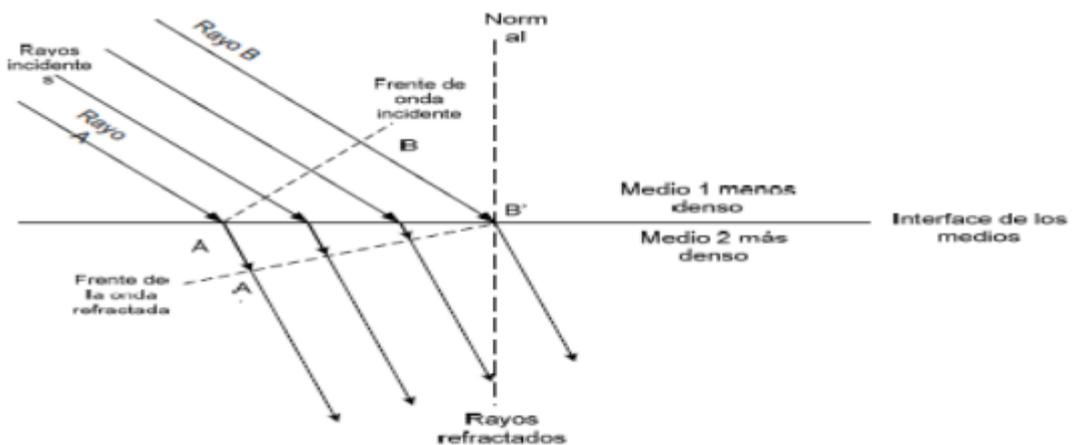


Figura 2.20 Refracción de una Onda Electromagnética. [18]

- **Reflexión:** Se produce cuando la onda electromagnética se propaga en el medio y ésta choca con un obstáculo, provocando una reflexión que trasfiere en el sentido contrario parte de la energía a las partículas del medio incidente tal y como se aprecia en la figura 2.21.

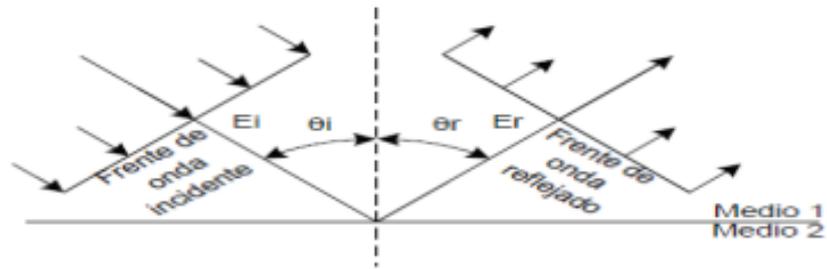


Figura 2.21 Reflexión de una Onda Electromagnética. [18]

- **Difracción:** Tal y como se muestra en la figura 2.22 se origina en el momento que las ondas electromagnéticas se propagan a través del medio y encuentran una rendija, cuya dimensión es aproximadamente igual a la longitud de onda de las ondas incidentes. Las ondas se penetran a través de la rendija convirtiéndose ésta en el nuevo foco emisor.

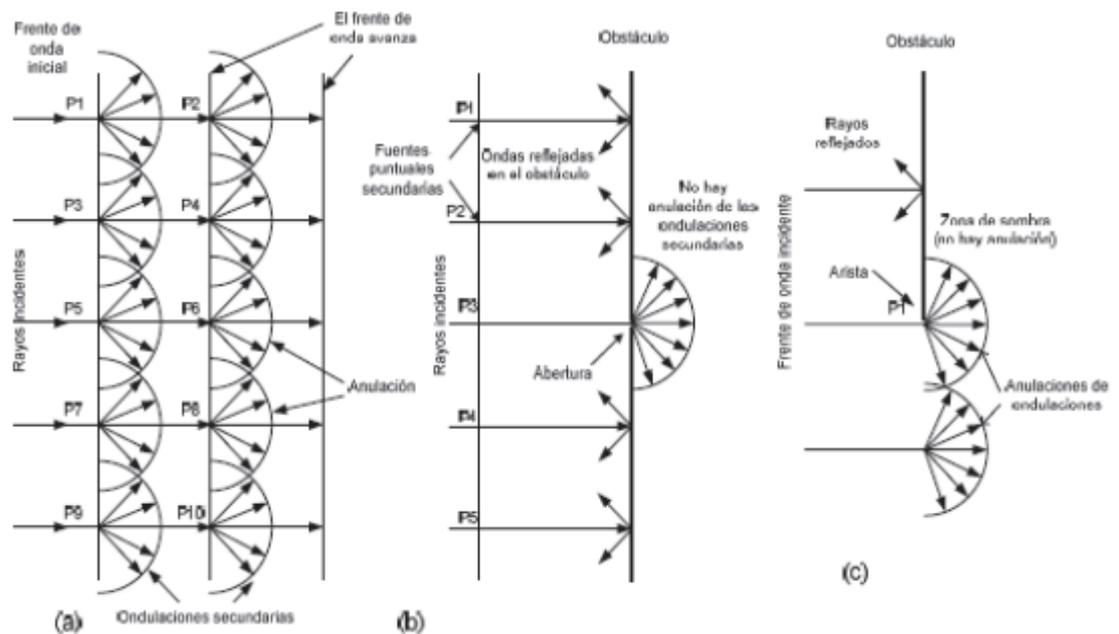


Figura 2.22 Difracción de ondas electromagnéticas

- **Interferencia:** es producida en el momento de que varias ondas electromagnéticas coinciden entre sí en cierto punto del medio por el cual se propagan y se superponen, en la figura 2.23 se puede ver el comportamiento cuando existe interferencia entre ondas electromagnéticas.

Existen dos tipos de interferencia, la interferencia constructiva y destructiva.

La interferencia constructiva se produce cuando dos o más ondas electromagnéticas que viajan a la misma frecuencia se superponen entre sí, formando una onda con amplitud igual a la suma las amplitudes de las ondas originales.

La interferencia destructiva se ocasiona cuando ondas electromagnéticas con la misma frecuencia no se encuentran en fase, por lo que las ondas se cancelan.

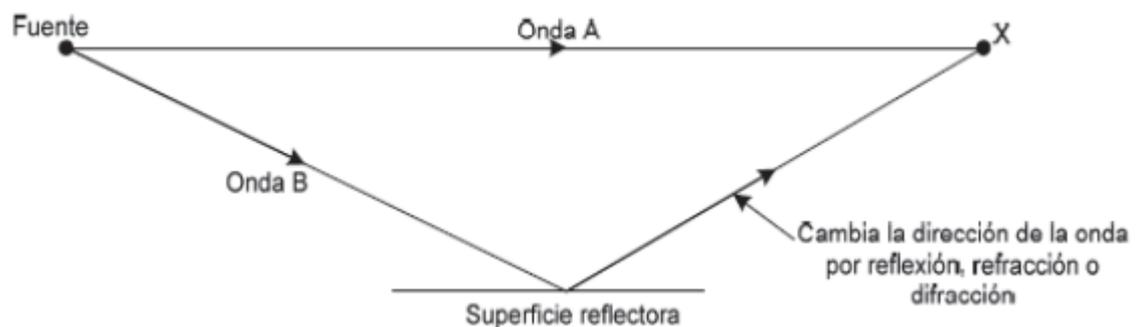


Figura 2.23 Interferencia de Ondas Electromagnéticas

2.2.2. Modelos de Propagación para ambientes abiertos

Un modelo de propagación es una expresión matemática que permite estimar la pérdida de potencia en la señal electromagnética que se propaga en el medio hasta que llega a donde se encuentra ubicada la antena receptora.

El modelo de propagación depende directamente de las características del medio y existen factores que pueden afectarlo como son:

- Efecto multicamino: El efecto multicamino se produce cuando una o más señales de radio llegan a la antena receptora en tiempos desiguales, causando problemas al momento de recibir la señal, por la interacción entre las señales recibidas.
- Efecto doppler: se produce cuando existe un cambio de frecuencia en las ondas electromagnéticas, debido al movimiento relativo que presenta la fuente en relación con el observador.

2.2.2.1. Modelo de Propagación en el Espacio Libre.

Este modelo se lo utiliza cuando se requiere calcular la señal de potencia entre dos puntos con un LOS libre de obstáculos. Existen sistemas de comunicaciones que se los puede modelar con este modelo de propagación, como son: comunicaciones satelitales y enlaces de microondas.

La potencia recibida del sistema decae en función a la distancia de separación en que existe entre la antena transmisora y receptora y está dada por la siguiente ecuación:

$$P_r(d) = \frac{P_t G_t G_r \lambda^2}{(4\pi)^2 d^2 L}$$

(2.5)

Donde:

P_t = potencia transmitida

P_r = potencia recibida

G_t = ganancia antena Transmisora

G_r = ganancia antena Receptora

λ = longitud de onda [m]

d = distancia de separación entre las antenas [m]

L = factor de pérdida del sistema

La ganancia de una antena está dada por:

$$G = \frac{4\pi A_e}{\lambda^2} \quad (2.6)$$

A_e también conocida como área efectiva, tiene relación con el tamaño físico de la antena y la longitud de onda (λ) se relaciona con la frecuencia

que trabaja el radioenlace, mediante:

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (2.7)$$

Donde:

f = frecuencia con la que va a trabajar el radioenlace [Hz]

c = velocidad de la luz

Conociendo todas estas ecuaciones se puede hallar la pérdida por trayectoria, la cual representa la atenuación de la señal que existe en todo el camino:

$$L_p(dB) = 20 \log(d) + 20 \log(f) - 10 \log(G_t) - 10 \log(G_r) - 147,55 [dB]$$

(2.8)

La ecuación de Friss está enfocada en las comunicaciones inalámbricas y permite calcular la potencia recibida de la señal siempre y cuando la antena transmisora se encuentre dentro de la región de campo lejano.

[19]

El término campo lejano se refiere la potencia que irradia y no tiende a regresar a la antena, por lo que también es conocido como campo de radiación.

2.2.2.2. Modelo de Propagación Okumura

Este modelo es el más utilizado para ambientes urbanos, comprende unos rangos de frecuencias de 150 MHz hasta 1920MHz, distancias de 1 [Km] a 100 [Km] y las alturas de las antenas de la estación base se encuentran en el rango de 30[m] a 1000[m]. [20]

Las pérdidas de este modelo se pueden calcular con la siguiente ecuación:

$$L_p(dB) = L_f + A_{mu}(f, d) - G(h_{t\epsilon}) - G(h_{r\epsilon}) - G_{\acute{a}rea} \quad (2.9)$$

Donde:

$L_p(dB)$ = la atenuación que presenta el sistema en toda la trayectoria.

L_f = pérdida del espacio libre

$A_{mu}(f, d)$ = curvas de atenuaciones relativas promedio

$G(h_{tε})$ = Ganancia de altura de la antena transmisora

$G(h_{rε})$ = Ganancia de altura de la antena receptora

$G_{área}$ = Ganancia por el tipo de ambiente

En este modelo se pudo apreciar una variación de dB/década, en el caso de $G(h_{tε})$ hay una variación de índice de 20 dB/Dec y en $G(h_{rε})$ varía un índice de 10 dB/Dec para alturas inferiores que 3 [m].

$$G(h_{tε}) = 20 \log \left(\frac{h_{tε}}{200} \right), \quad \text{para } 30 \text{ m} < h_{tε} < 1000 \text{ m}$$

(2.10)

$$G(h_{rε}) = 10 \log \left(\frac{h_{rε}}{3} \right), \quad \text{para } h_{rε} < 3 \text{ m} \quad (2.11)$$

$$G(h_{rε}) = 10 \log \left(\frac{h_{rε}}{3} \right), \quad \text{para } 3 \text{ m} < h_{rε} < 10 \text{ m} \quad (2.12)$$

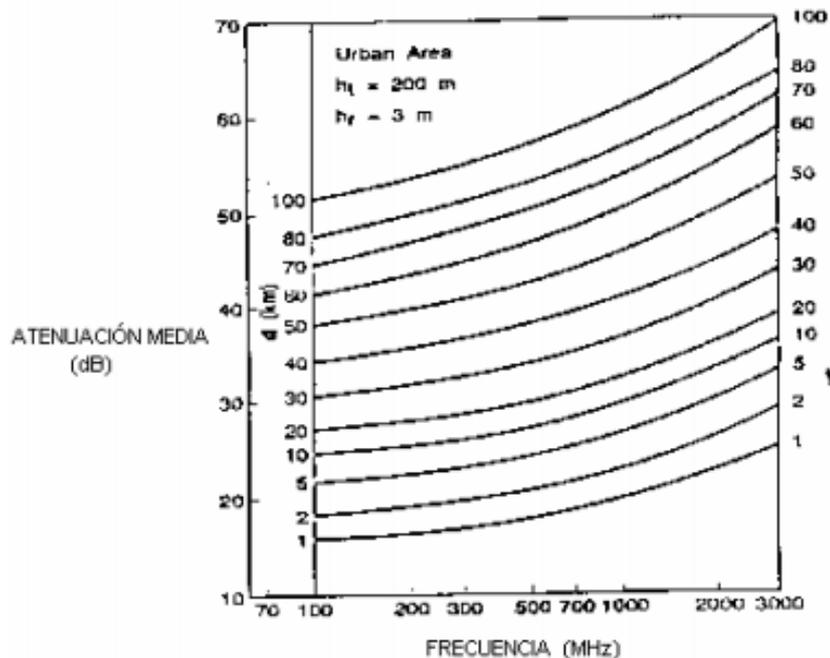


Figura 2.24 Tabla de predicciones para el modelo Okumura. [20]

Okumura es el modelo más simple que existe para el cálculo de predicciones de atenuación en la señal, en ambientes urbanos, sistemas móviles, sistemas de radioenlaces, en la figura 2.24 se puede

apreciar una tabla de predicciones de atenuación vs frecuencia según el modelo de Okumura.

2.2.2.3. Modelo de propagación Longley Rice

Permite que en los enlaces punto a punto y punto a zona se pueda realizar cálculos de propagación. Este modelo permite trabajar con rangos de frecuencia, como son de 20 MHz a 100 GHz. [21]

Este modelo se desarrolló para trabajarlo a grandes distancias, las antenas transmisoras y receptoras pueden estar separadas entre 1 [km] a 2000 [Km] y pueden estar a alturas entre 0,5 a 3000[m].

Este tipo de modelo considera el perfil del terreno y refractividad de la troposfera.

Es utilizado en sistemas de difusión y sistemas de radiocomunicaciones móviles, lo único que limita a los usuarios utilizar este modelo es que se requiere fuentes confiables de información de mapas digitalizados con una resolución admisible. [22]

2.2.2.4. Modelo WAM de Oleaje

Se trata de un modelo de propagación sobre Olajes del mar desarrollado por el grupo WAM, propuesto por Klaus Hasselman en 1984; y a medida que ha pasado el tiempo se ha ido mejorando, siendo actualmente el modelo más extendido y verificado para este tipo de medio.

En el modelo Wam se toma en consideración todos los parámetros que afecta el oleaje en el mar, ya sea como las rutas de las olas por los vientos, modelos atmosféricos, etc., tal y como se muestra en la figura 2.25, dando a lugar un sistema de predicción aceptable producido por los resultados de diferentes investigaciones.

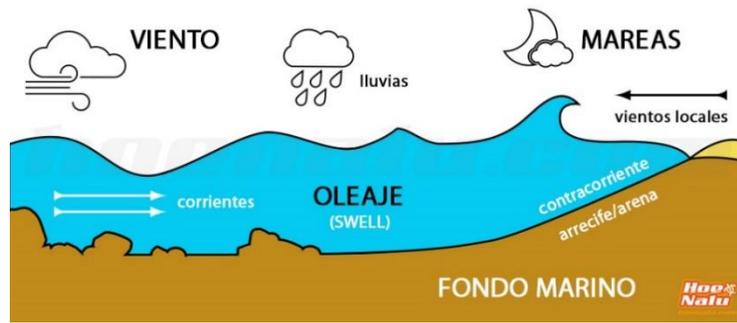


Figura 2.25 [23]

Hoy en día existen varias versiones que se basan en el modelo Wam, incluyendo análisis de asimilación de datos o esquemas de acoplamiento basados en la atmósfera y cambios climáticos.

Para los cálculos de propagación en aguas profundas, se describirá el término S como la fuente neta a la variación de la energía que provoca la propagación de las olas en una línea geodésica.

$$\frac{\partial F}{\partial t} + (\cos \phi)^{-1} \frac{\partial}{\partial \phi} (\dot{\phi} \cos \phi F) + \frac{\partial}{\partial \lambda} (\dot{\lambda} F) + \frac{\partial}{\partial \theta} (\dot{\theta} F) = S$$

(2.13)

En donde:

F : Densidad de energía de oleaje en coordenadas esféricas respecto a la frecuencia f y dirección θ .

Para el caso de la propagación del oleaje se aplica la siguiente expresión de primer orden:

$$F_j^{n-1} = F_j^n - \sum_k \frac{\Delta t}{\Delta X_k \cos \theta_j} [(u \cos \phi F^n)_j - (u \cos \phi F^n)_k] \quad (2.14)$$

Adicional se obtiene los términos fuentes de energía para aguas profundas:

$$S = S_{in} + S_{nl} + S_{ds} \quad (2.15)$$

En donde:

S_{in} : Transmisión de Energía por el viento

S_{nl} : Transferencia no lineal entre componentes de oleaje.

S_{ds} : Disipación.

Los términos descritos en la ecuación anterior definidos explícitamente serán después integrados por diferencias finitas mediante un modelo implícito de 2do orden mostrado a continuación:

$$F_{n+1} = F_n + \frac{\Delta t}{2} (S_{n+1} + S_n) \quad (2.16)$$

En donde:

Δt : incremento en el tiempo.

n: paso del tiempo.

Anexando, para la ecuación 3, en casos de que el estudio se realice sobre aguas someras se ha recomendado añadir el siguientes término fuente:

S_{sf} : Rozamiento con el fondo del mar.

Adicional los términos S_{ds} y S_{nl} serán también modificados en el cálculo.

2.3. Software para simular Radioenlaces.

Realizar el proceso de cálculo de presupuesto de radioenlaces a mano suele ser sencillo, pero puede tornarse complicado dependiendo de la localidad, el clima, etc., es por eso por lo que existen algunos softwares que facilitan el trabajo, haciendo más rápido dicho cálculo. Estas herramientas se convierten en una ayuda y consideran varios factores tales como, pérdidas en los conectores, ganancia de las antenas, frecuencia de operación, efecto del terreno, clima, etc., para dar como resultado la potencia de recepción de la señal, alcance, margen frente a desvanecimientos, permiten determinar si se presentará alguna obstrucción en la zona de Fresnel, para así poder comprobar si el radioenlace será posible.

A continuación, se detallará algunos softwares con sus respectivas características, que serán de gran utilidad para el cálculo de un presupuesto de enlace:

- **Radio Mobile:** Software que se encuentra al alcance de cualquier usuario, ya que es gratuito y provee un modelo de propagación conocido como Terreno Irregular (ITM) con el uso de mapas digitales de elevación, trabaja para frecuencias comprendidas entre los 20 MHz a 20 GHz. El software simula radioenlaces punto a punto y punto multipunto, en los cuales se configuran los parámetros del enlace, se puede apreciar en la figura 2.26 ejemplos de simulaciones brindadas por el software.

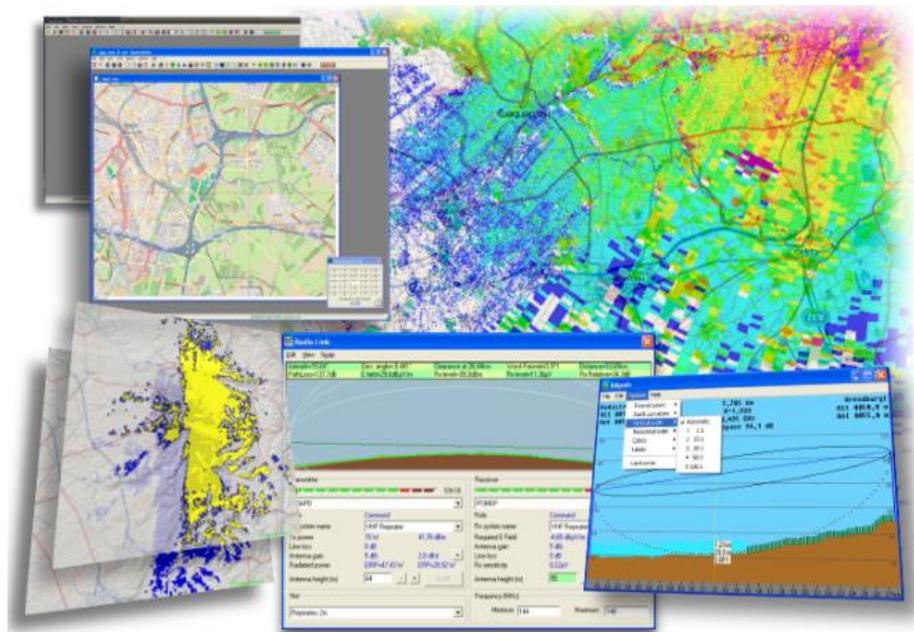


Figura 2.26 Simulaciones de Radio Mobile. [24]

- **SPLAT-GUI:** es un software que no realiza ningún cálculo solo facilita el ingreso de datos de coordenadas por parte del usuario, y muestra mediante gráficas los resultados del radioenlace.

ENLACE PUNTO A PUNTO 

Coordenadas transmisor(es) 

Nombre del sitio:

LATITUD: ° ' '' SUR

LONGITUD: ° ' '' WEST

Altura antena sobre el terreno (m) :

Nombre del sitio 2:

LATITUD: ° ' '' SUR

LONGITUD: ° ' '' WEST

Altura antena sobre el terreno (m) :

Nombre del sitio 3:

LATITUD: ° ' '' SUR

LONGITUD: ° ' '' WEST

Altura antena sobre el terreno (m) :

Coordenadas del receptor

Nombre del sitio:

LATITUD: ° ' '' SUR

LONGITUD: ° ' '' WEST

Altura antena sobre el terreno (m) :

Figura 2.27 Ingreso de coordenadas para el radioenlace. [25]

- **XIRIO**: Es un software económico y rápido que sirve para simular cobertura radioeléctrica (figura 2.28), que puede aplicarse al diseño de tecnologías inalámbricas ya sea en entornos rurales o urbanos, utilizando cartografía de alta resolución. [26]



Figura 2.28 Simulador de cobertura radioeléctrica. [26]

2.4. Monitoreo de Red en un Radioenlace.

Para que exista conexión entre diferentes localizaciones se requiere formar una red mediante UTP, fibra óptica o radioenlace.

Cuando el SAI ofrece el servicio de acceso a internet, la red es uno de los principales elementos que requiere gran atención.

Si la red presenta cualquier tipo de inconveniente y la señal se cae, dejando sin acceso a internet al usuario final, la empresa deja sin servicio a sus clientes presentando pérdida monetaria, inconformidades, etc.

Por este motivo es importante que exista un sistema de monitoreo de red, ya que el encargado de monitorear la red puede asegurarse que esta se encuentre funcionando correctamente el 100% del tiempo.

Contar con un software de monitoreo de red va a ayudar para poder detectar problemas antes que este provoque una caída de la señal.

2.3.1. Monitoreo de Red Básico

Para llevar a cabo un monitoreo básico de red se requiere conocer los mensajes syslog y control de ancho de banda.

Los mensajes syslog son generados por los diferentes equipos de comunicaciones, los cuales se envían a un servidor para ser almacenarlos.

El ancho de banda es la cantidad de información que se transmite por un enlace de red en un período de tiempo determinado, sin importar el medio, con el cual se puede saber si la red se encuentra sobrecargada.

Con los dos puntos básicos descritos se puede controlar el estado de la red, poseen la capacidad de capturar, medir, y provocar alarmas, pero no pueden gestionar la red, es decir no existe una visión unificada ya que la herramienta no es capaz de tomar decisiones y realizar acciones para lograr solucionar el problema.

2.3.2. Monitoreo de Red Avanzado

Se debe de tener en cuenta los siguientes ítems para elegir un software de monitoreo de red avanzada:

- Comunicación de Alertas: informa al usuario cualquier tipo de incidente, es importante el formato y rapidez que tiene el mensaje.

- Integraciones con servidores externos: En un sistema de monitoreo se debe permitir la medición de ancho de banda, también es de gran importancia que el software que se elija para monitoreo sea capaz de monitorear diferentes servidores, ya sean de email, aplicaciones web o aplicaciones CRM.
- Usabilidad y presentación de los datos en el panel: es importante para poder visualizar y conocer cómo se encuentra la red en tiempo real.
- Flexibilidad a la hora de adaptarse a herramientas o software particulares: el software de monitoreo debe ser capaz de adaptarse a distintos entornos y tecnologías.
- API de acceso desde sistemas externos: permite la comunicación entre aplicaciones, permitiendo el acceso a los datos.
- Detección de dispositivos de forma automática: el software debe ser capaz de detectar de manera automática los elementos que conforman la red.
- Integración con bases de datos: las bases de datos son de vital importancia en la infraestructura, por esta razón el software debe ser capaz de integrarse con las bases de datos que se encuentra en las instalaciones de la empresa.
- Multidispositivo: en la actualidad es mucho más frecuente el uso de dispositivos, es por esto por lo que el software que va a monitorizar la red pueda ser accesible desde cualquier dispositivo.
- Escalado: Es importante que el software pueda monitorear grandes y complejas máquinas ya que la red de la empresa puede crecer con el pasar de los años.
- Soporte del mayor número de protocolos de adquisición de datos posibles: se requiere conseguir la mayor información de la red, para esto se necesita que el sistema sea capaz de capturar cualquier protocolo de la red.
- Seguridad: Se requiere el software de monitoreo cuente con protección de la información ya que en la mayoría de los casos es confidencial, para evitar inconvenientes en el futuro, por lo que se recomienda que las claves sean encriptadas para una mayor seguridad.
- Integraciones de Hardware: La red no solo está compuesta por cables, también está conformada por computadoras, por ello se recomienda que el software sea capaz de conocer el estado de cada una de las computadoras, enfocándose en memoria, espacio de discos, temperatura, etc.

- Geolocalización: la mayoría de las empresas tiene sus servidores y aplicaciones en la nube. Si la empresa está migrando todo a la nube, hay que comprobar que la herramienta tenga la posibilidad de monitorizar aplicaciones en la nube. [27]

CAPÍTULO 3

3. DISEÑO METODOLÓGICO

Para la elaboración de una guía técnica de radioenlaces P2P sobre superficies marítimas, en primer lugar, se debe realizar una investigación sobre posibles factores que podrían afectar el enlace, tales como las reflexiones del mar, marea y el clima de la localidad.

En segundo lugar, se procedió a escoger una localidad para llevar a cabo la implementación del radioenlace, con el objetivo de demostrar que, si bien en este tipo de radioenlaces se presentan algunos factores que pueden llegar a afectarlo, con un buen diseño y con los equipos óptimos se puede lograr un enlace efectivo entre dos localidades separadas a grandes distancias.

El radioenlace punto a punto se llevará a cabo desde en el cantón General Villamil Playas hasta el sur de la Isla Puná, el cual brindará el servicio de acceso a internet a una empresa llamada “Naturisa”, dedicada a la producción de camarones. Naturisa requiere que sus oficinas que se encuentran ubicadas en el sector del sur de Puná tengan conexión a internet con el mundo exterior.

Debido a que el enlace P2P va a ser implementado sobre la superficie marítima, se debe analizar en donde se deberán colocar las antenas, lo más recomendable es ubicarlas en lugares considerablemente altos para así asegurar que la primera zona de fresnel se encuentre libre de obstáculos y que la señal transmitida no se vea afectada.

En el cantón Playas el edificio mas alto es el condominio Carabelas de Colón en dicho lugar se va instalar la antena transmisora (maestro), que tiene una altura de 57 [m], con un nivel sobre el mar de 10 [m] y la altura de la torre donde se colocará la antena transmisora es de 10 [m], por lo que en el software de Radio Mobile colocaremos una altura final de 77 [m], a su vez en Puná el cerro más alto mide 42 [m] Teniendo de esta forma una altura final de, esta altura final es la que se colocará en el simulador.

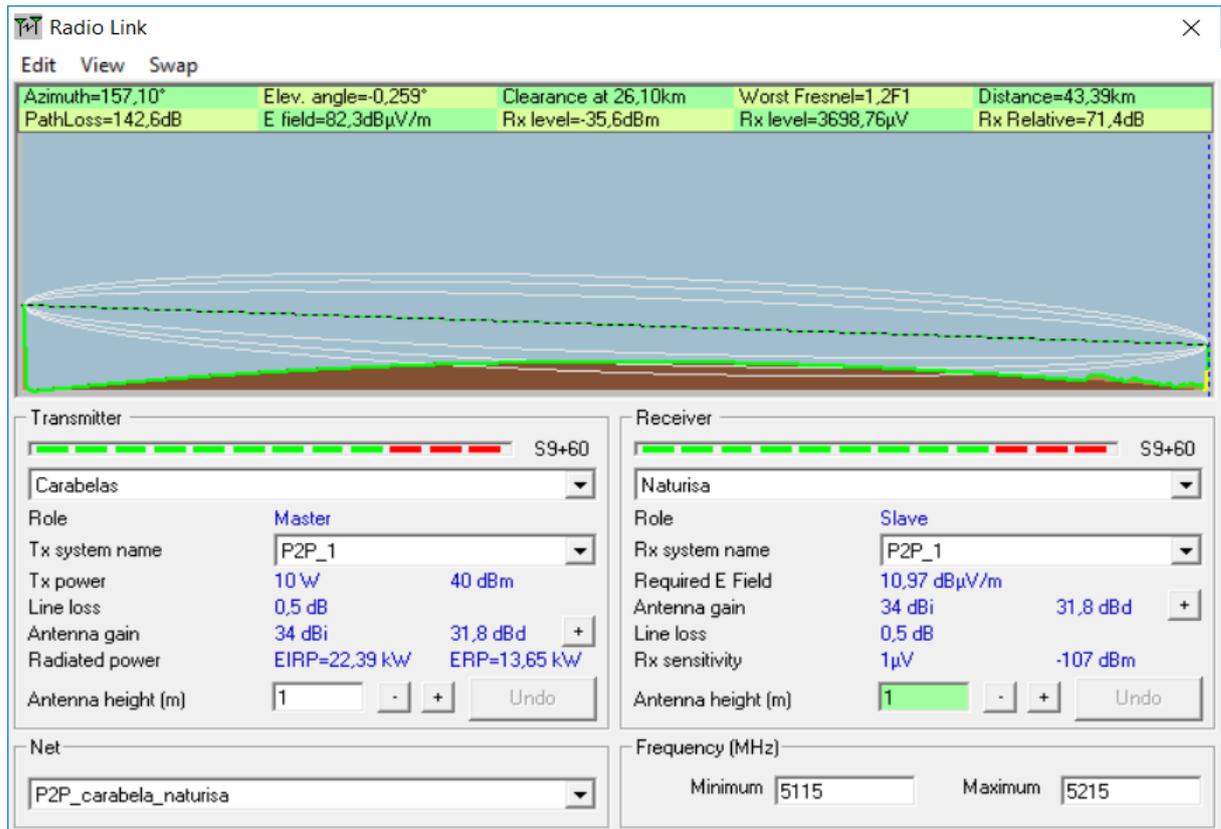


Figura 3.1 Simulación de la zona de fresnel de Carabelas a Puná.

Como se puede visualizar en la figura 3.1. la zona de fresnel no se encuentra 100% libre de obstáculos, por lo que el radio enlace puede presentar ciertas fallas en la recepción de señal. Al momento de que suba la marea, ésta sobrepasará aún más dicha zona provocando que la señal de transmisión tenga mayor afectación. Por este motivo se requiere analizar qué tipo de antena posee las mejores características para la implementación del radioenlace, para asegurar que, aunque exista alguna obstrucción el usuario final no va a perder comunicación con el exterior.

Una vez realizado el estudio y análisis se decidió cuáles iban a ser los equipos para la implementación del enlace. Se procedió a armar las antenas, las cuales son colocadas en los mástiles y con la ayuda de una brújula se las direcciona hacia el punto donde queremos enganchar la antena transmisora con la receptora, en este caso se direccionó a 57° a la derecha la antena ubicada en el cantón Playas, logrando engancharla con la antena receptora que se encontraba en Puná, consiguiendo una buena conexión de señal tanto en la antena transmisora como receptora.

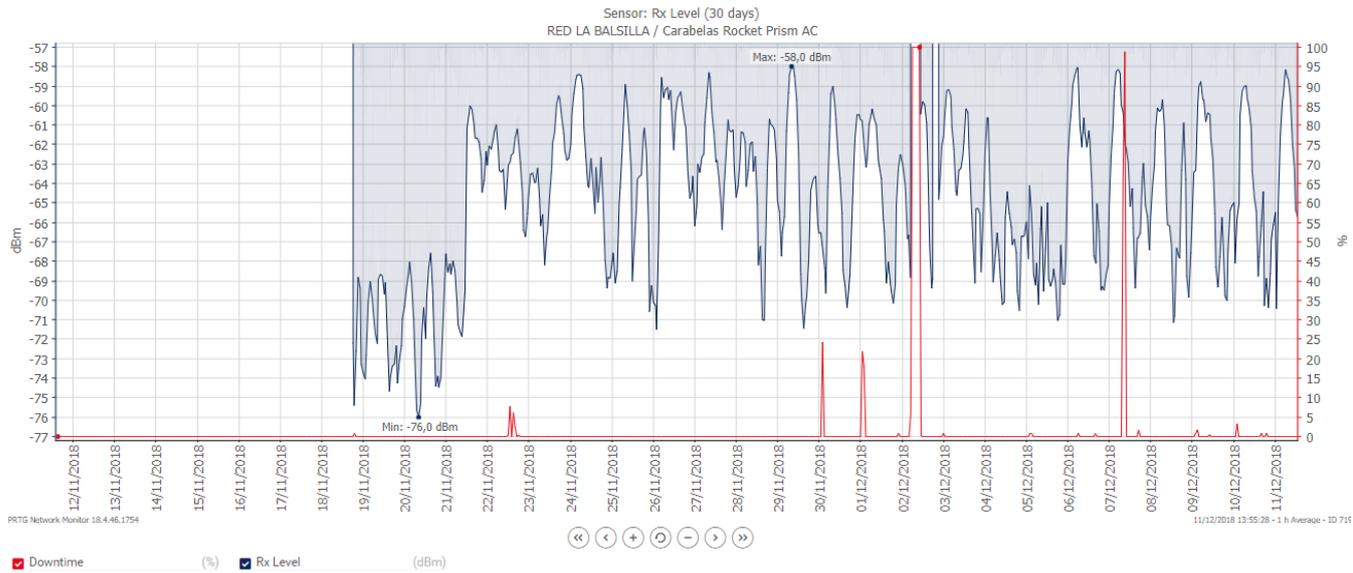


Figura 3.2 Sensor de Recepción de la señal de antena transmisora

En la figura 3.2 se puede observar el sensor de nivel de recepción de la señal de la antena transmisora ubicada en Carabelas, la cual varía de -63 dBm a -68 dBm

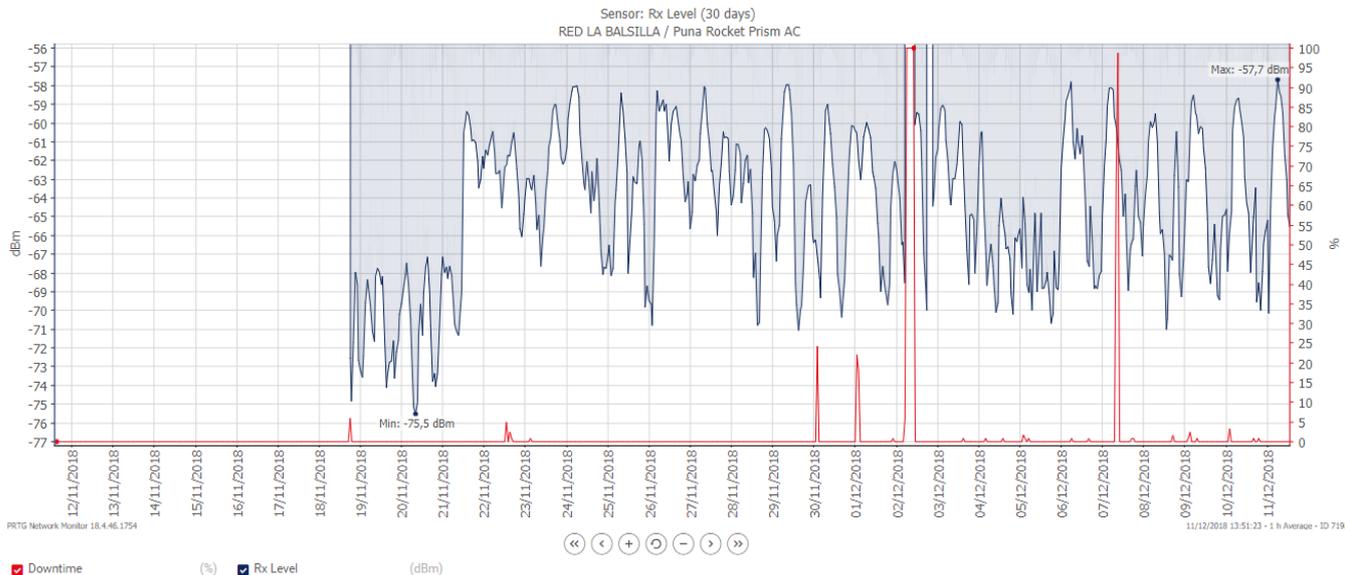


Figura 3.3 Sensor de Recepción de la señal de antena receptora

En la figura 3.3 se puede observar el sensor de nivel de recepción de la señal de la antena receptora ubicada al Sur de Puná, la cual varía de -75,5 dBm a -57,7 dBm.

La recepción de la señal teórica óptima es de -62 dBm, tanto en la antena transmisora y receptora, como se puede apreciar en las figuras 3.3 y 3.3 existe una variación en la señal debido a ciertos factores tales como: mareas, vapor de agua, vientos que mueven la antena en el mástil, entre otros.



Figura 3.4 Armado de la Antena Parabólica



Figura 3.5 Buscar cual será la posición correcta con ayuda de la brújula



Figura 3.6 Instalación de antena transmisora en dirección correcta hacia antena receptora.

Como se puede visualizar en la figura 3.6 el mástil no presenta una estabilidad mecánica y dado a el tamaño de la antena y los vientos que se presentan en el lugar, se nota a simple vista que la parte alta del mástil se mueve, por lo que este movimiento hace que la antena se desalinee y cambien los niveles de señal de recepción.

A continuación, se detallará el software, los equipos y el sistema de monitoreo de red que se ha utilizado para el presente proyecto integrador:

3.1.Radio Mobile

Radio Mobile es un software libre que es utilizado para el cálculo de radioenlaces a grandes distancias, con grandes beneficios ya que con él se puede verificar si la transmisión de los sistemas de comunicaciones es factible y diseño de enlaces. Utiliza perfiles geográficos y características de los equipos que se van a utilizar en el enlace P2P tales como: potencia, ganancia de las antenas, sensibilidad del receptor y pérdidas.

Sirve para operar en el rango comprendido de 20 MHz a 20 GHz, basado en un modelo de propagación conocido como Irregular Terrain Model (ITS), maneja mapas satelitales tridimensionales de las localidades donde se llevará a cabo el radioenlace.

Este software se enfoca en radioenlaces punto a punto tal y como se muestra en la figura 3.7; no obstante, posee un simulador de cobertura que es proporcionado por las antenas con el fin de conocer si el enlace cae dentro del área de servicio. [28, p. 2]

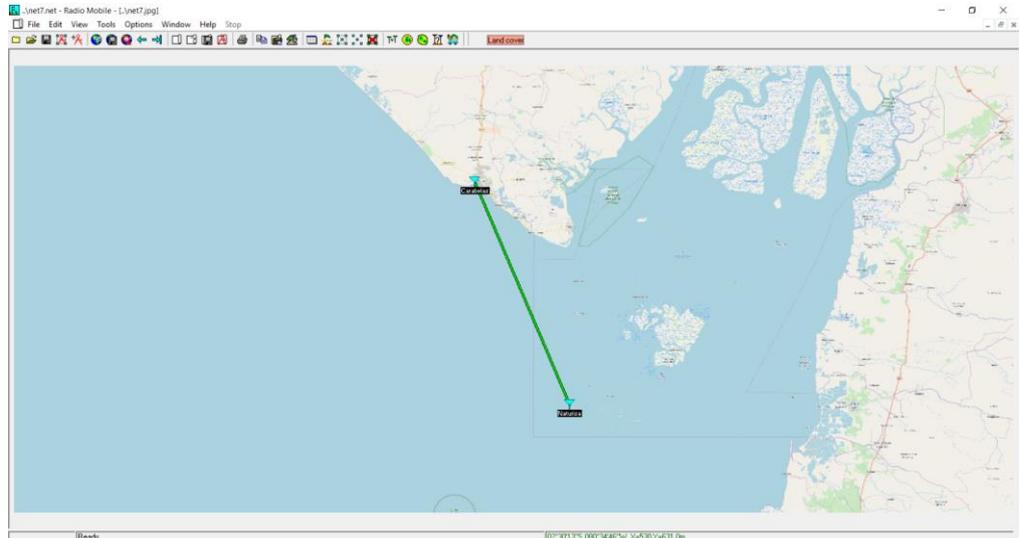


Figura 3.7 Ejemplo de enlace P2P de Radio-Mobile de Playas a Puná.

3.1.2. Simulaciones y Resultados

En esta sección se dará a conocer brevemente como se utilizó Radio Mobile, los resultados obtenidos y si se encontró algún inconveniente.

En la guía técnica se detallará más a fondo los pasos detallados del software para obtener la simulación del radioenlace P2P.

3.1.2.1. Introducción de parámetros

Para realizar la simulación se debe de tener claro donde en que zona se llevará a cabo el radioenlace, se introduce las coordenadas para que el programa Google Earth pueda simular los extremos del radioenlace. Existen datos que son de gran importancia para realizar la simulación, los cuales se muestran en la tabla 3.1:

Tabla 3.1 Datos principales introducidos en Radio Mobile

Datos	Valores
Rango de frecuencia	5115 – 5215 [MHz]
Potencia de transmisión	10 [Watt]
Modo de Propagación	Two Rays
Altura de la antena transmisora	
Ganancia de la antena	34 dBi
Umbral del receptor	1[uV]
Altura de la antena receptora	
Pérdidas (cable, conectores, etc.)	0,5 dB

Finalmente, después de introducir los datos más relevantes que el software requiere para la simulación, se puede evidenciar que, si existe línea de vista y que la primera zona de fresnel no se encuentra 100% libre de obstáculos, también está la opción de simular la cobertura de la señal con la opción **single polar radio coverage**, la cual muestra los distintos niveles de potencia mientras se va alejando de la radio-base, el software permite ver en la simulación donde hay cobertura y donde no.

3.2. Equipos para implementación de radioenlace P2P

En el capítulo 2, se realizó un estudio de los diferentes tipos de antenas que existen para la transmisión de datos, y se ha elegido la antena con las características que cumplen con las necesidades para este tipo de radioenlaces como es la antena tipo parabólica RocketDish RD-5G34.

Se procederá a detallar los equipos que se usarán para el radioenlace realizado desde Villamil playas hasta la Isla Puna:

- **Estación base RP-5AC-Gen2:**

Equipo de la marca Ubiquiti, dedicado para enlaces de largo alcance, con una frecuencia de operación de 5Ghz, la cual será de gran utilidad para establecer el enlace requerido para esta aplicación.

El equipo incluye todos los accesorios necesarios para la instalación como lo podemos observar a en la figura 3.8:



Figura 3.8 Accesorios incluidos dentro del producto RP-5AC-Gen 2

A.- Antena Rocket Prism 5AC

Es el equipo principal encargado de la transmisión y recepción inalámbrica, el cual realiza el enlace inalámbrico bajo los parámetros que se hayan configurado con el software ofrecido por la empresa.

Estos equipos soportan la intemperie, tiene una gran capacidad de datos y su acoplamiento con los demás componentes es muy práctico y sencillo de conectarlos, el cual se lo puede visualizar en la figura 3.9.

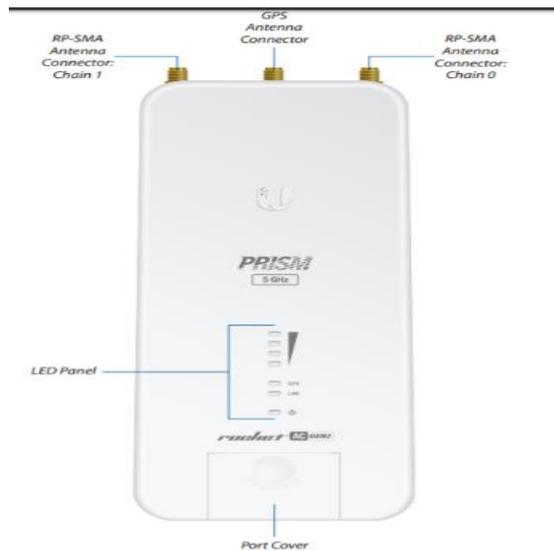


Figura 3.9 Antena Rocket Prism 5AC

B.- Antena GPS

En el equipo Ubiquiti viene incorporado un sistema GPS, el cual es usado para coordinar enlaces a largas distancias y también para sincronizar la conexión entre los equipos de transmisión y recepción; lo cual más adelante se detallará mejor su funcionamiento.

Como requisito para el funcionamiento del GPS, se necesita que los equipos tengan una vista sin obstáculos y amplia hacia el cielo, para que la señal GPS sea estable y no ocurra problemas de conexión a futuro.

C.- PoE gigabit con soporte de montaje.

Como en la mayoría de los equipos inalámbricos, este equipo viene incorporado un inyector PoE, incluyendo una toma de Tierra protegida con ESD (Descargas electroestáticas); lo cual su conexión es sencilla con los equipos, cable Ethernet y con la toma de alimentación 110v o 220v como se muestra en la figura 3.10:

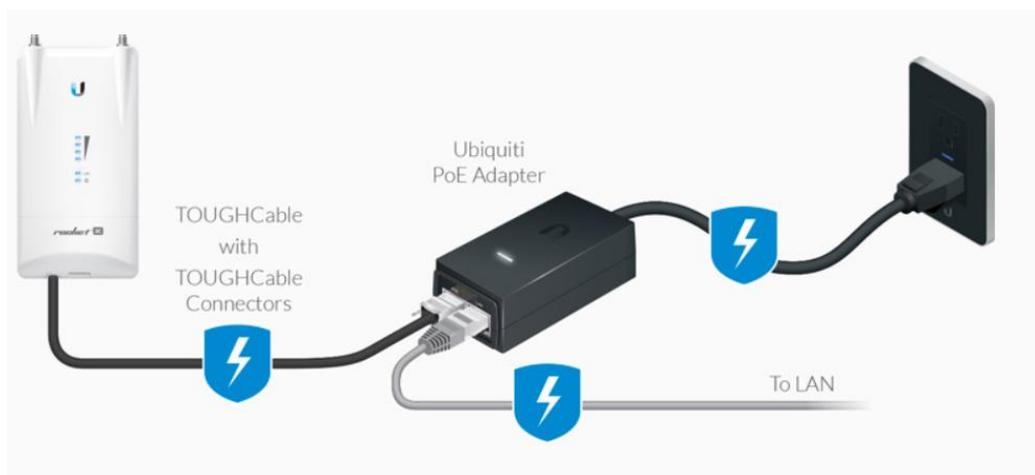


Figura 3.10 PoE Adapters. [29]

D.- Cables de poder.

Al igual que todo aparato electrónico, se tiene los cables de alimentación para conectar a la red de suministro energético ya sea para 110V o 220V, con un buen aterrizaje a tierra, adicionalmente pudiendo usarse a la intemperie.

E.- Manual de instrucciones del equipo Ubiquiti.

Dentro de todo el paquete de los equipos, viene incluido el manual para la instalación de los equipos Ubiquiti, incluido imágenes y los datos técnicos de los componentes; adicional a esto en el manual de la empresa explican el uso del software para la configuración del equipo Rocket Prism.

- Antena RocketDish RD-5G34

En la figura 3.11 se puede observar una antena puente de tipo plato Airmax de la marca Ubiquiti con portadora 2x2 P2P, la cual trabaja con dos polarizaciones, una horizontal y otra vertical; lo cual aumenta la tasa de transmisión de datos con más confiabilidad de la red para establecer un enlace inalámbrico a grandes distancias.

A esta antena se incorpora el equipo radio Rx y Tx, trabajando a la vez como una estación base; lo cual se debe armar todos los accesorios que necesita la antena para colocarla en una torre y que funcione correctamente para obtener una buena comunicación inalámbrica; todos los pasos para equipar la

antena se encuentran en una guía de instalación que viene incluido en la compra del equipo.



Figura 3.11 Antena tipo plato RocketDish

Para equipar toda la antena, y quede listo solamente para sujetarse a las torres en la cual se establecerá dicho enlace; se deberá conocer todos los accesorios requeridos y que viene incluidos dentro del producto solicitado, tal y como se muestra en la figura 3.12:



Figura 3.12 Accesorios incluidos dentro del producto RocketDish RD-5G34

Los requerimientos y materiales adicionales para la implementación de las antenas en la torre son los siguientes:

- Destornillador Phillips # 1
- Llave de 16 mm o 5/8 pulg.
- Llave de 24 [mm]
- Arnés de seguridad para subir la torre.
- El cableado blindado de Categoría 5 (o superior) que debería usarse para todas las conexiones Ethernet cableadas y deben estar conectadas a tierra a través de la CA de tierra del PoE; teniendo en cuenta que de esto depende mucho que el equipo radio no sea susceptible a descargas eléctricas, lo cual es remendado seguir todos los requerimientos dados por la garantía del producto.

Se recomienda las siguientes especificaciones dadas por la guía incluida en el producto:

- Es responsabilidad del cliente seguir las regulaciones locales del país, incluida la operación dentro de los canales de frecuencia legales, la potencia de salida y los requisitos de Selección de frecuencia dinámica (DFS).
- Le recomendamos que proteja sus redes de los entornos más brutales y los devastadores ataques de ESD con un cable Ethernet blindado de grado industrial de Ubiquiti.
- No usar este producto, en lugares que puedan ser sumergidos en agua.
- Se requiere cumplimiento con respecto al voltaje, la frecuencia y la corriente especificados en la etiqueta del fabricante. Una conexión a una fuente de alimentación diferente a la especificada puede resultar ineficaz, provocando daños en el equipo o riesgo de incendio en él.

- Para hacer uso de la garantía de la empresa, el mantenimiento o reparación se requiere que sean técnicos calificados por la compañía.

A continuación, en la figura 3.13 se observa 2 antenas que están instaladas en cada torre respectivamente, y se las utiliza para brindar servicios de datos ya sea para corporación, residencias, escuelas o lugares públicos en general.

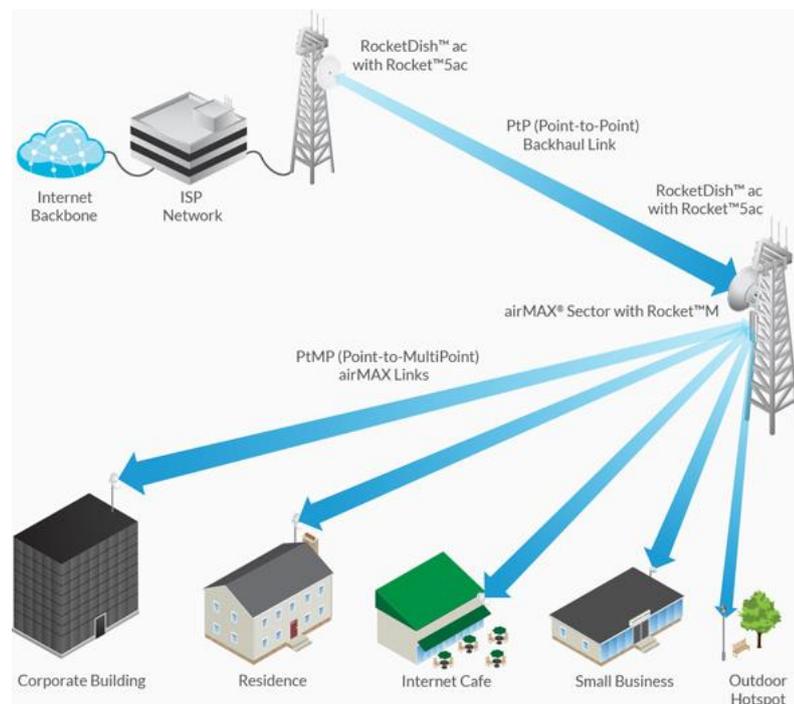


Figura 3.13 Ilustración de un enlace con las antenas RocketDish y suministro de servicios a varias áreas.

- **Herramientas básicas para la implementación de un radioenlace**

Las herramientas aconsejadas son:

- 1) Debido a que el radioenlace es a medianas distancias (43 Km), se necesitará un medio de comunicación con los técnicos de ambos extremos, ya sea por algún teléfono celular o sería más práctico un par de radio de 2 vías o un boki toki.
- 2) Una computadora con el software que permita medir la intensidad de la señal recibida.

- 4) Abrazaderas para sujetar la antena al soporte que se vaya a usar en algún lugar alto.
- 5) Herramientas para los tornillos de las abrazaderas.
- 6) Se recomendaría el uso de larga vista para observación de una línea de vista disponible.
- 7) Inclímetro en caso de que el equipo no posea sus medidas de inclinación para realizar los cálculos necesarios para establecer un enlace estable.
- 8) Es necesario el uso de arnés y correa de seguridad para instalar la antena en el mástil.
- 9) Se requiere uso de casco, guantes y lentes oscuros, para la seguridad del técnico que instale la antena.

3.3. PRTG – Software de Monitoreo

PRTG es un Software de monitorización avanzado (figura 3.14), amigable con el usuario que va a administrar la red ya que la interfaz de la herramienta es intuitiva y fácil de usar con tecnología de última generación, ideal para cualquier tipo de red.

PRTG asegura disponibilidad, mide el tráfico de la red y el uso de los componentes de esta. Esta herramienta reduce costos por lo que evita interrupciones, brindando optimización en las conexiones, carga y calidad.

[30]

Se mencionará las principales funcionalidades de la herramienta:

- **Alertas Flexibles:** PRTG es un software que cuenta con tecnologías integradas que brindan mayor seguridad en la red, tales como: email, push, reproductor de archivos de audio para alarmas, o desencadenar solicitudes HTTP.
- **Diversas interfaces de usuario:** PRTG posee una interfaz completa, con estándares de seguridad altos, tiene aplicaciones para iOS y Android. Se puede acceder al software por acceso local y remoto protegido por SSL.
- **Failover Clúster:** La herramienta permite una monitorización que es tolerante a los fallos ya que, si el clúster llega a sufrir una caída o se

encuentra desconectado, enseguida otro nodo toma todas las responsabilidades e incluye el envío de notificaciones.

La herramienta permite la configuración de varios puntos de presencia, es decir que todos los nodos vigilan a todos los sensores todo el tiempo, es por esto por lo que se puede comparar los tiempos de respuesta desde diferentes puntos de la red (LAN / WAN / VPN).

- **Mapas y Dashboards:** Esta herramienta permite al usuario visualizar el tráfico de la red por medio de gráficas en tiempo real.
 - **Monitorización distribuida:** Se puede monitorizar redes que se encuentren separadas dentro de una misma organización (DMZ y LAN) o se encuentren en diferentes ubicaciones, con la ayuda de sondas remotas de PRTG.
 - **Informes Detallados:** Con PRTG se tiene acceso a toda la información de la red, cifras, estadísticas y gráficas de los datos de monitorización. Se puede exportar la información en forma de PDF, HTML, XML o CSV.
- [31]

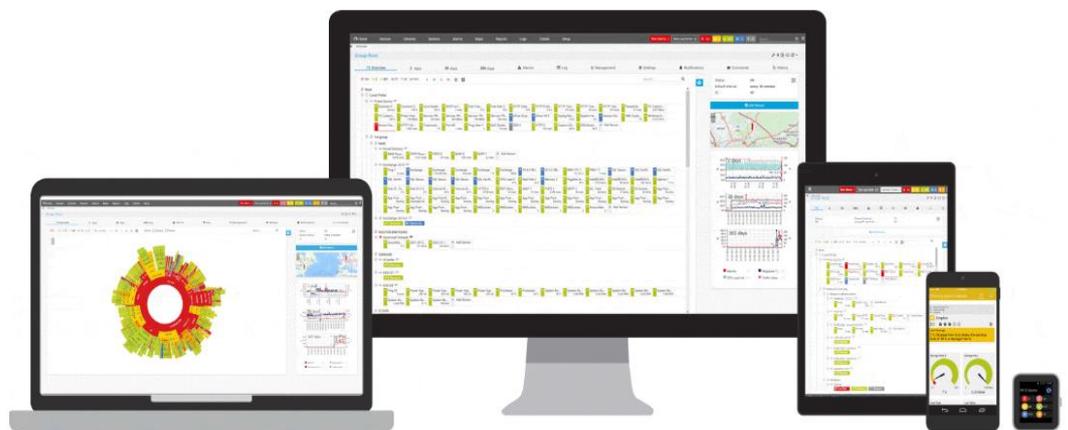


Figura 3.14 Software PRTG en diferentes dispositivos donde se puede monitorear la red. [32]

CAPÍTULO 4

4. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Finalmente, para cumplir con los objetivos expuestos anteriormente, se presentan gráficos obtenidos por medio del software de monitoreo PRTG Networks para analizar y ver el comportamiento del tráfico en la red entre Carabelas y Puná.

4.1.Device Carabelas Rocket Prism AC

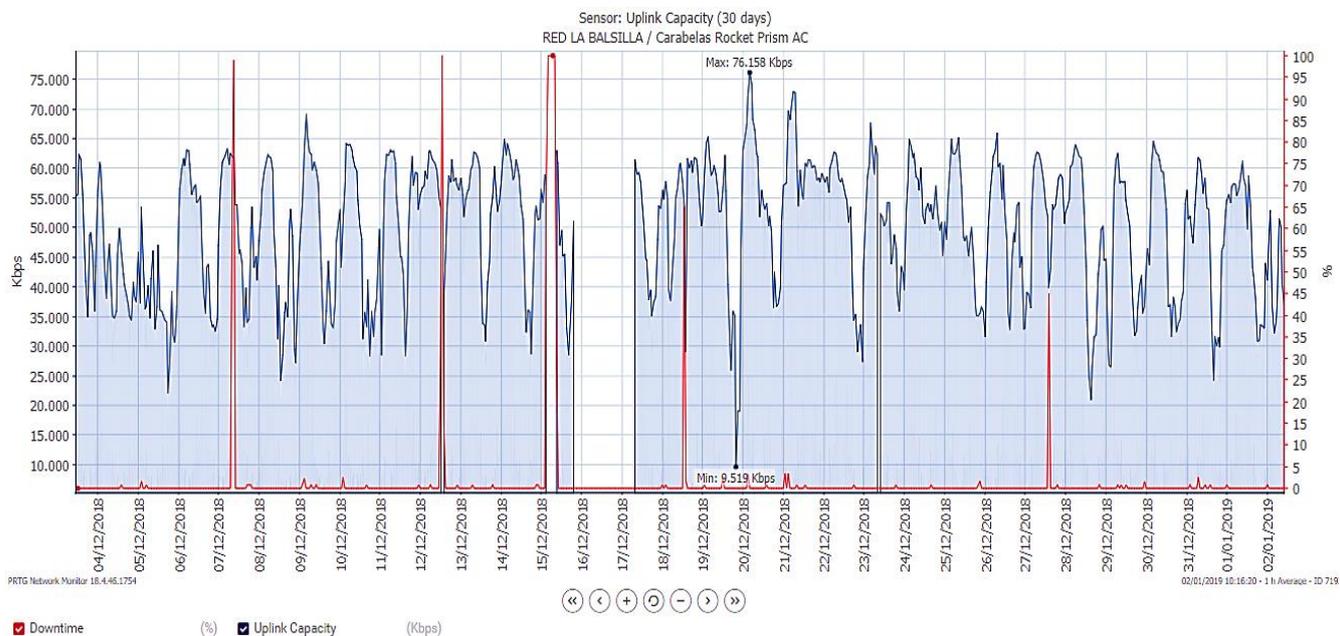


Figura 4.1 Capacidad de Enlace Ascendente

En la figura 4.1 se puede visualizar la capacidad del enlace para cargar datos, el cual va a depender del servicio contratado, dónde la máxima capacidad de carga es 76,158 [Kbps] y el mínimo es de 9,519 [Kbps].

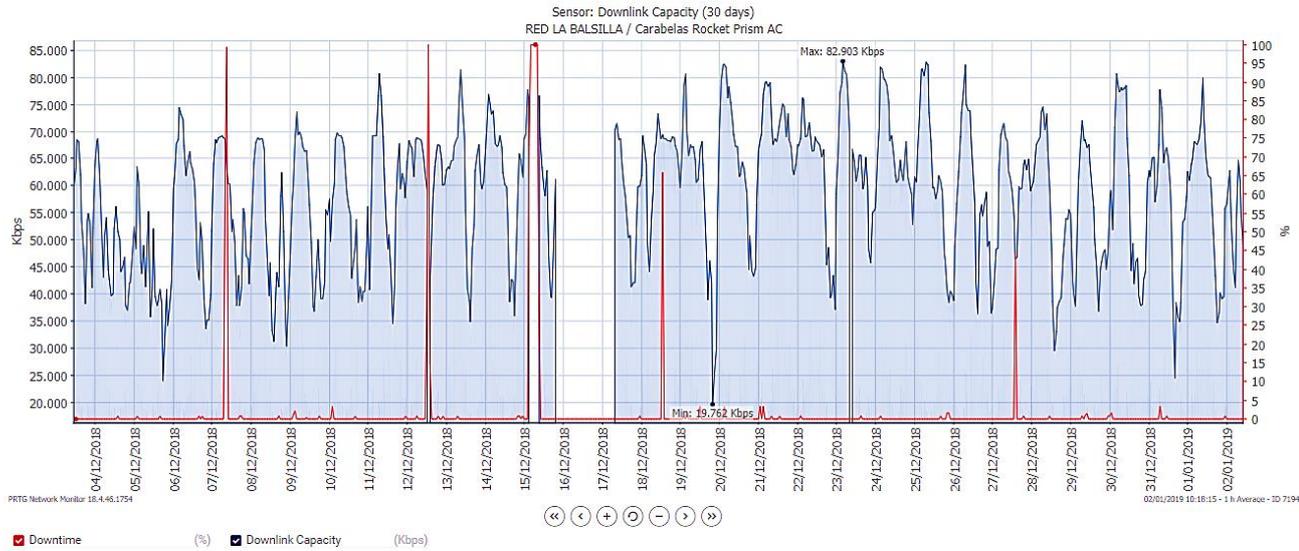


Figura 4.2 Capacidad de Enlace Descendente

En la figura 4.2 se puede visualizar la capacidad del enlace para descarga de datos, dónde la máxima capacidad de descarga es 82,903 [Kbps] y el mínimo es de 19,762 [Kbps].

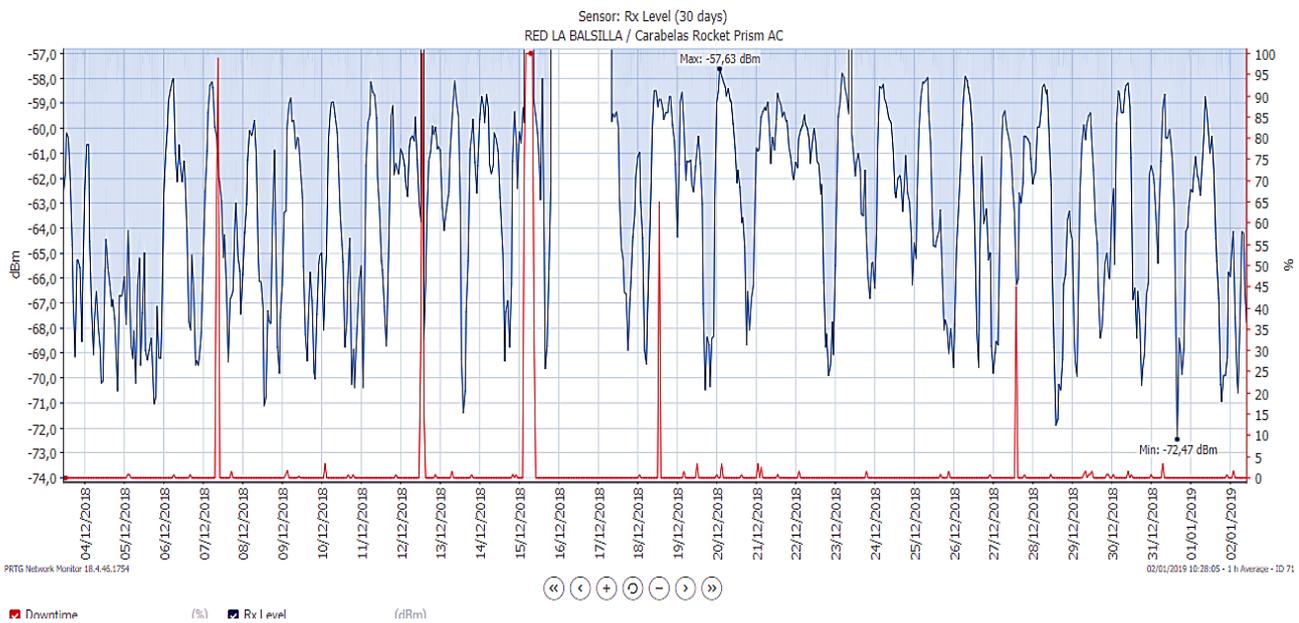


Figura 4.3 Informe de Nivel Rx

En la figura 4.3 se puede visualizar la recepción de la señal de la antena maestro, con un nivel de recepción máximo de -57,63 dBm y un mínimo de -72,47 dBm.

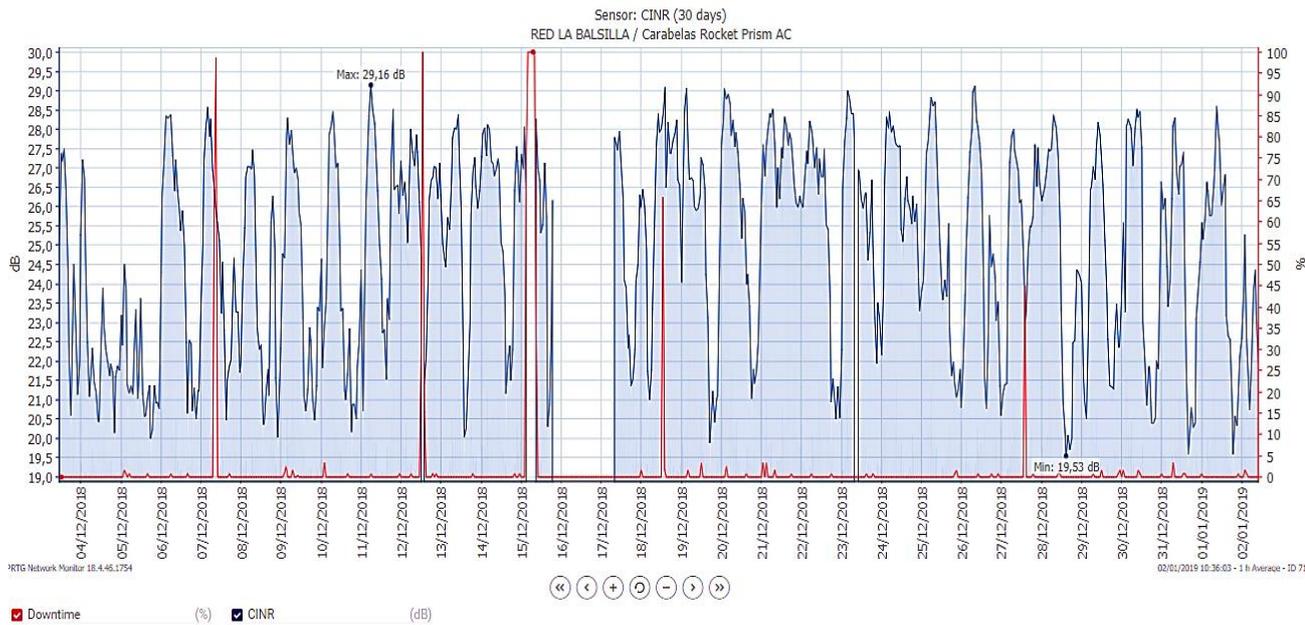


Figura 4.4 Informe para el CINR

En la figura 4.4 se puede visualizar el tráfico de la señal cuando existe ruido, con un nivel máximo de 29,16 dB y un mínimo de 19,53 dB.

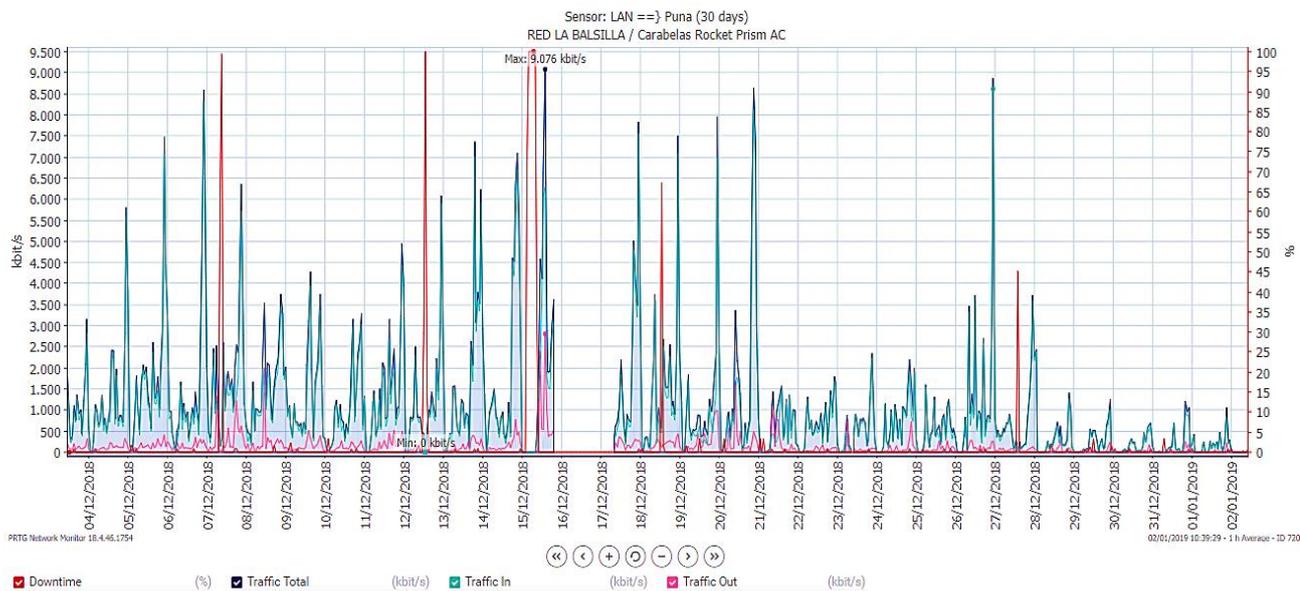


Figura 4.5 Informe para LAN Puná

En la figura 4.5 se visualiza el tráfico en la red de Carabelas a Puná, con un nivel máximo de 9,076 [Kbps] y un mínimo de 0 [Kbps].

4.2. Device Puna Rocket Prism AC

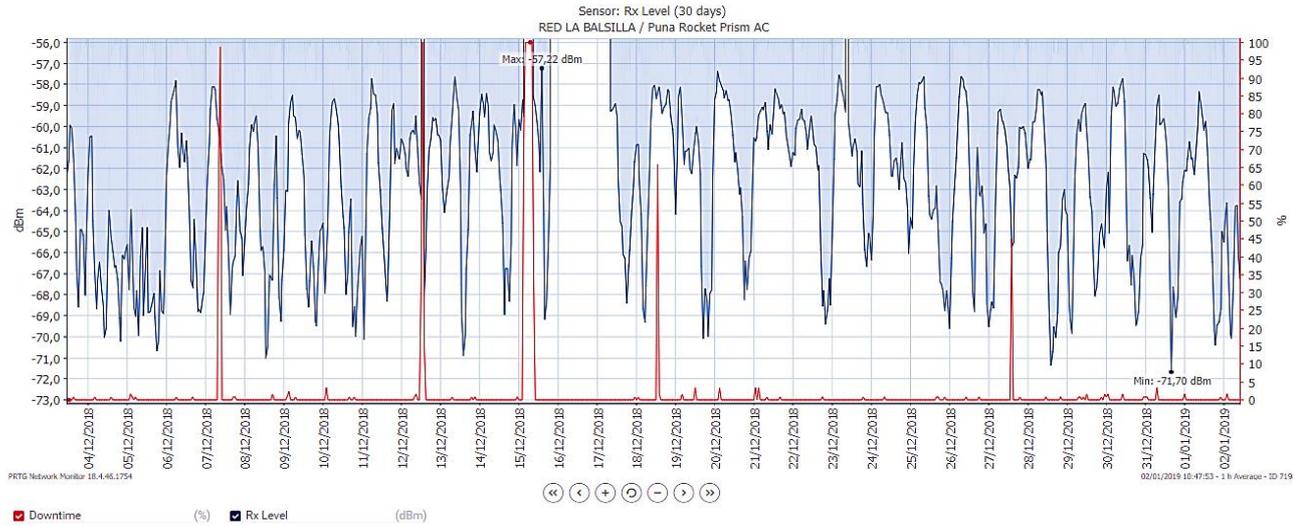


Figura 4.6 Informe de Nivel Rx

En la figura 4.6 se puede visualizar la recepción de la señal de la antena esclavo (Puná), con un nivel de recepción máximo de -57,22 dBm y un mínimo de -71,70 dBm.

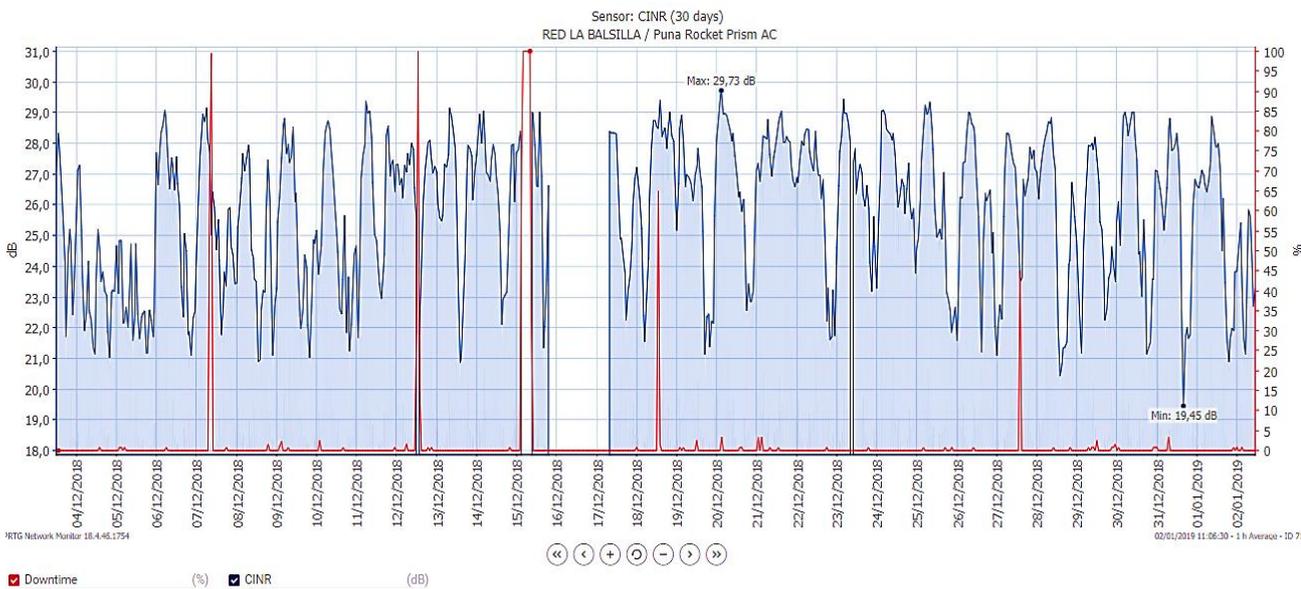


Figura 4.7 Informe para el CINR

En la figura 4.7 se puede visualizar el tráfico de la señal cuando existe ruido, con un nivel máximo de 29,73 dB y un mínimo de 19,45 dB.

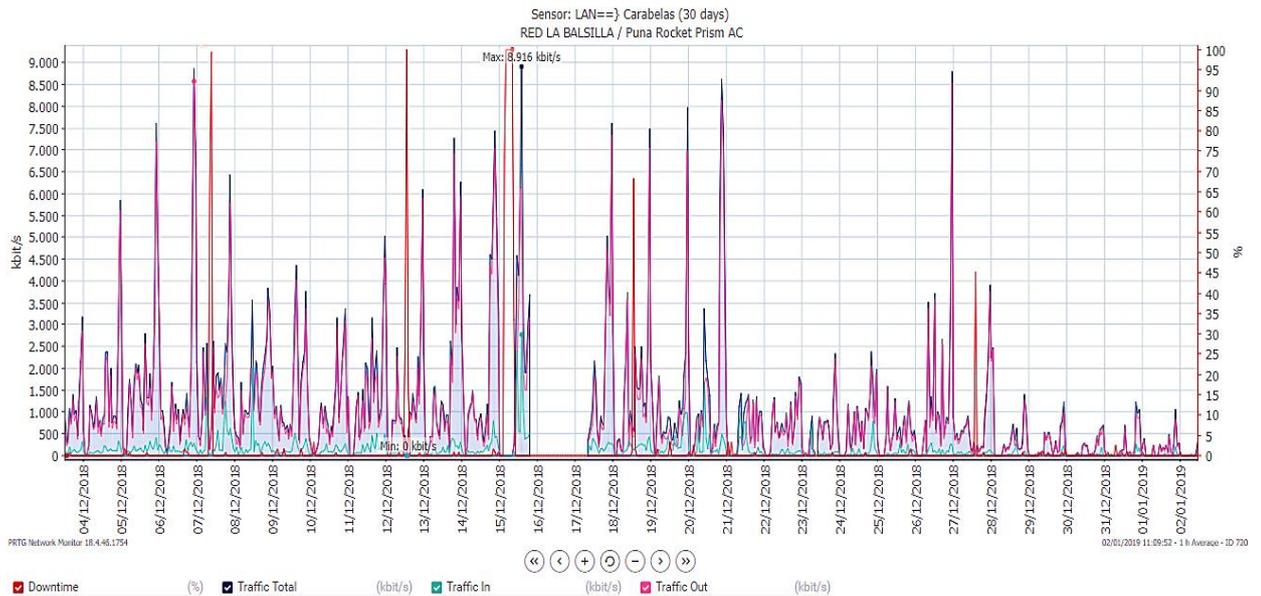


Figura 4.8 Informe para LAN Carabelas

En la figura 4.8 se visualiza el tráfico en la red de Puná a Carabelas, con un nivel máximo de 8,916 [Kbps] y un mínimo de 0 [Kbps].

En las figuras 4.1 y 4.2, son gráficas de capacidad de carga y descarga respectivamente, en las cuales se puede notar la relación directa que existe con el nivel de la señal Rx (figura 4.3).

Se puede visualizar en todas las gráficas anteriores que existe la presencia de líneas rojas (Down time), las cuales significan que ha existido alguna falla en el enlace. Esto puede deberse a ciertos factores tales como:

- Variación del nivel de marea por lo que cambia el punto de reflexión del rayo reflejado e incide más o incide menos sobre la recepción de señal en ambos lados.
- Falta de estabilidad mecánica del mástil donde está colocada la antena, ya que por los vientos que se presentan en el lugar existen cambios en los niveles de recepción de la señal.
- En la gráfica 3.1 se puede apreciar que la zona de Fresnel no se encuentra 100% libre debido a que se encuentra tocando con la superficie marítima y esto provoca alguna falla en la señal.

La capacidad de señal que entrega el SAI a Naturisa es de 10 Mbps y la capacidad de canal se encuentra sobrada, esto se puede concluir comparando las gráficas del nivel

de carga y descarga de la señal figuras 4.1 y 4.2 respectivamente con el tráfico de la red figuras 4.5 y 4.8.

Por ejemplo, en el peor de los casos en la figura 4.2 la capacidad de canal bajó a 19 000 [Kbps] aproximadamente que es prácticamente el doble de lo que realmente el usuario final necesita. Por lo que en ningún momento el tráfico real (figuras 4.5 y 4.8) se ve afectado por lo que esté pasando en el enlace.

Nota: La falta de información entre el 16 y 17 de diciembre se debe a una falla del servidor.

4.3. Factores reales relacionados al enlace

4.3.2. Temperatura

Como se ha descrito anteriormente, la calidad del enlace dependerá directamente de las condiciones climáticas del mar. Se ha detectado una relación directa entre los datos del enlace brindados por el software de monitoreo y la temperatura real del mar en la costa ecuatoriana brindada por el INOCAR (Instituto Oceanográfico de la Armada), datos que son obtenidos desde una boya marina situada en Manta.



Figura 4.9 Relación entre el nivel Rx del enlace y la temperatura del mar

En la figura 4.9, se puede apreciar datos obtenidos de la señal de recepción en un intervalo de dos días (Figura 4.9 gráfico superior) y se ha comparado con el gráfico de la temperatura del mar (Figura 4.9 gráfico inferior), obtenida desde la página del INOCAR, dando una estrecha relación entre ambas gráficas en la cual cuando la temperatura del mar sube de nivel, la señal Rx baja considerablemente; debido a las altas temperaturas provocando que el agua se evapore y se generen gases sobre el mar afectando la calidad del enlace.

4.3.3. Mareas

La marea o nivel del mar es uno de los principales factores que afectan a la calidad del enlace, debido a que el oleaje del mar presente en el medio afecta directamente a la zona de Fresnel; a diferencia con el caso de la temperatura que también afecta la señal de manera lineal, con el oleaje no será posible efectuar una comparación similar, debido a que en el medio no se lleva a cabo un control de datos reales de los niveles de oleajes presentes en Ecuador, en su efecto se maneja un modelo de predicción que en algunos casos llegan a ser confiables o en otros casos no lo son ya que se deben a las variaciones climáticas existentes; dado este caso los datos de oleajes tomados del INOCAR (figura 4.10), servirán para analizar algún patrón en la calidad de la señal

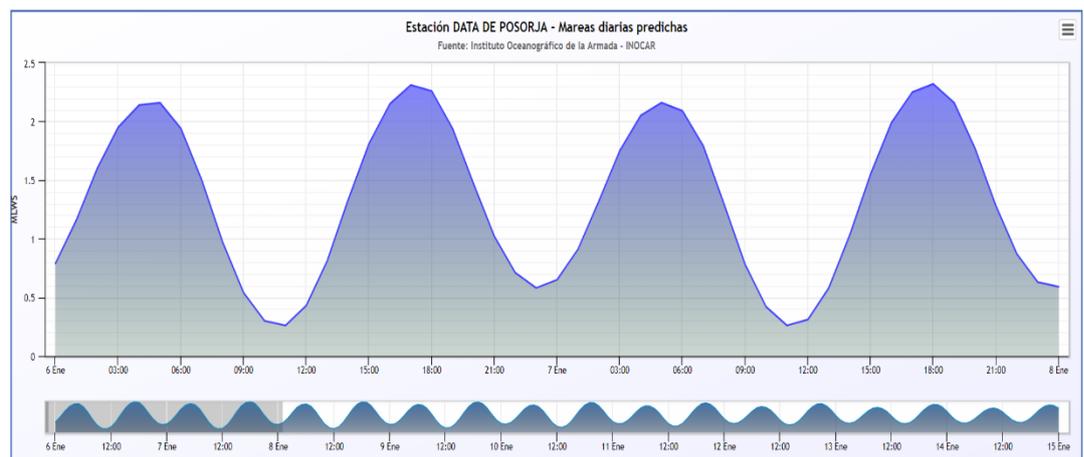
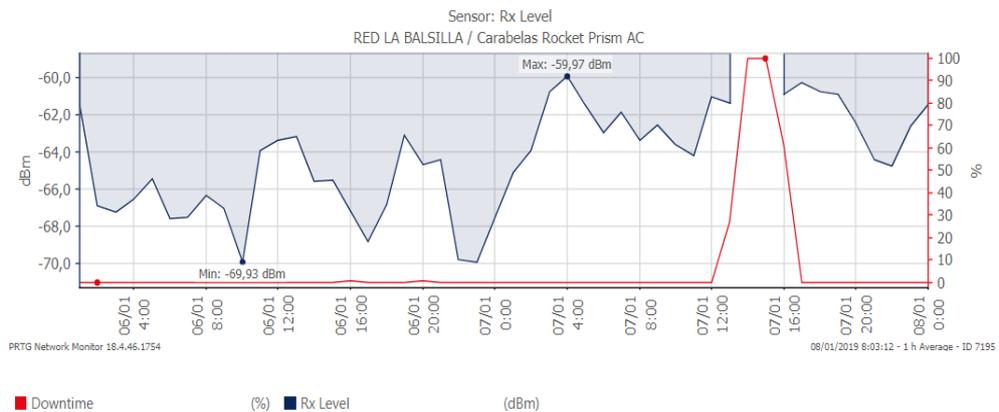


Figura 4.10 Datos tomados del INOCAR- Gráfico de marea de Posorja.

En la figura 4.10 y 4.11 se colocaron datos con un intervalo de 2 días desde el 6/enero/2019 hasta el 8/enero/2019, con la finalidad de



establecer alguna relación de la señal Rx del enlace con la predicción de oleaje ofrecido por el INOCAR; lo cual por teoría cuando la marea es alta la señal debería afectar observándose en la figura 4.11. una similitud a la marea predicha.

Figura 4.11 Señal Rx del enlace desde Carabelas.

Utilizando las gráficas del INOCAR y del software PRTG se hallará una relación en un intervalo de tiempo específico con la finalidad de predecir la incidencia entre la marea y la señal de recepción del radioenlace.

Tabla 4.1 Consideraciones para la calidad de la red según la señal Rx.

Señal Rx [dB]	Calidad de la Red
Rx < -68 dB	MALA
-68dB < Rx < -64dB	REGULAR
-64dB < Rx	BUENA

La tabla 4.2. representa la comparación entre los datos reales obtenidos del enlace y la predicción de la marea obtenidos del INOCAR, la cual servirá como base para desarrollar un pronóstico de la red en base a los datos de la marea; sin embargo, dichos datos dependerán de otros factores por lo que el nivel de confianza de dichos antecedentes será muy bajo; lo cual como se observa en la figura 4.12. en algunas ocasiones la señal cambia drásticamente en el día, es por esto por lo que será difícil predecir estos cambios que pueden verse afectados por el

clima del mar o vientos fuertes ya que en la actualidad dichos fenómenos son difíciles de predecir en este medio.

Según el análisis realizado los últimos 10 días representado en la figura 4.12., incluyendo el análisis de la marea y las consideraciones de la red según la tabla 4.1. se desarrolló la tabla 4.2 con ciertos rangos de horarios:

Tabla 4.2 Horario estadístico asignado a la calidad del enlace según la señal Rx.

Horario	Calidad de red	Estado de Marea
00:00 – 06:00	Bueno	-
06:00 – 12:00	Regular	Pleamar
10:00 – 14:00	Malo	Bajamar
14:00 – 17:00	Regular	Pleamar
17:00 – 21:00	Malo	-
21:00 – 23:59	Regular	Bajamar

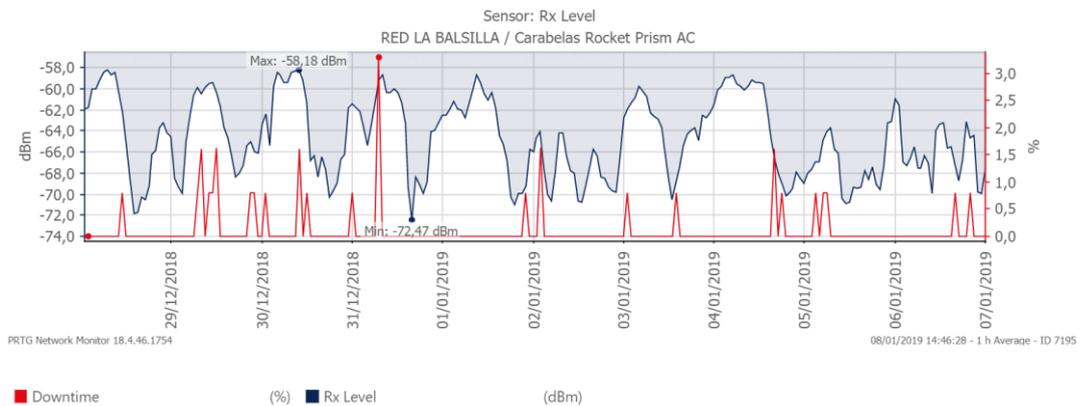


Figura 4.12 Señal Rx del enlace desde 28/Dic/2018 hasta 7/Ene/2019

CONCLUSIONES

A través de estudios e investigaciones revisados en función del presente proyecto, se llegó a la conclusión de que no existe un modelo de propagación específico para radioenlaces sobre superficies marítimas dado que se ven involucrados varios factores que pueden perturbar la señal de recepción tales como: nivel de marea, vientos que afectan la torre donde están ubicadas las antenas, clima, gases, etc.

Se logró demostrar que la implementación de radioenlaces sobre superficies marítimas es viable siempre y cuando se lleve a cabo el respectivo estudio y análisis previo. Mediante el uso de una herramienta de simulación de enlaces punto a punto o punto multipunto llamado Radio Mobile se observó un enlace factible ya que al momento de colocar los datos que la herramienta solicita, esta muestra una simulación del radioenlace entre General Villamil Playas y el Sur de Puná tal y como se puede visualizar en la figura 3.1.

Una vez implementado el radioenlace, este puede ser controlado y monitoreado por medio de un software llamado PRTG Networks el cual está constituido por varios sensores en la red por lo que nos brindará diferentes tipos de gráficas tales como: capacidad del enlace de carga y descarga, nivel de recepción de la señal, CINR y tráfico de red. Las cuales fueron analizadas en el capítulo 4, presentando ciertas fallas en la recepción de la señal que se deben a factores que se detallarán a continuación:

- El agua salada es altamente conductora volviéndose un espejo para las ondas electromagnéticas.
- En la figura 3.6 se pudo visualizar que el mástil donde se encuentra ubicada la antena transmisora no presenta una estabilidad mecánica y dado el tamaño de la antena y los fuertes vientos que se producen en la zona se nota a simple vista que la parte alta del mástil se mueve, causando que la antena se desalinee y provocando cambios en los niveles de recepción de la señal.
- La marea también es un factor que puede afectar la señal ya que, cambia el punto de reflexión del radio reflejado, por lo que incide más o incide menos sobre la recepción de ambos lados.
- La temperatura del mar también es un factor que afecta el nivel de recepción de la señal, como se pudo visualizar en la figura 4.9 cuando la temperatura del mar sube

la señal de recepción baja considerablemente, esto se debe al vapor de agua generado por el mar.

RECOMENDACIONES

Para la instalación de la antena se sugiere que el personal de obra encargado cuente con un arnés, conociendo que trabajar a una altura superior a 1.20 metros la norma NFPA72 exige el uso de este equipo de protección personal, además se debe contar con casco y guantes anticorte.

Antes de realizar la instalación de la antena se sugiere realizarlo a un clima despejado sin fuertes corrientes de aire, esto ayudará a evitar cambios en los niveles de recepción de la señal.

Se recomienda tener un dominio total en el uso y manipulación de la brújula, esta destreza permitirá que las antenas estén bien alineadas, permitiendo así la comunicación entre las mismas.

Para la implementación del radioenlace se sugiere realizarlo a una altura considerable, de esta forma se evitará que la zona de Fresnel tope el nivel del mar.

Para obtener resultados positivos al momento de efectuar el radioenlace se sugiere realizar cálculos de balance de potencias, de esta forma se tendrá una dimensión de las pérdidas existentes en el espacio a trabajar.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] C. y. R. I. d. G. E. Empresa Pública Municipal de Turismo, «Guayaquil es mi destino,» 2018. [En línea]. Available: <http://www.guayaquilesmidestino.com/es/naturaleza/parroquias-rurales/parroquia-rural-isla-puna/isla-puna>.
- [2] CONATEL, «RESOLUCIÓN TEL-068-04-CONATEL-2013 CONSEJO NACIONAL DE TELECOMUNICACIONES,» 2013.
- [3] Wikipedia, «Zona de Fresnel,» 31 Agosto 2018. [En línea]. Available: https://es.wikipedia.org/wiki/Zona_de_Fresnel.
- [4] F. Ramos, «Tecnologías inalámbricas y diseño de radioenlaces,» [En línea]. Available: <http://www.radioenlaces.es/articulos/perdidas-en-obstaculos/#more-137>.
- [5] E. Hang, «Zonas de Fresnel: ¿Por qué son importantes?,» 24 Agosto 2016. [En línea]. Available: <https://eachang.wordpress.com/2016/08/24/zonas-de-fresnel-importancia/>.
- [6] Carlos Alberto Vila Burguete, «UDLAP BIBLIOTECAS,» 16 Mayo 2005. [En línea]. Available: http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lem/vila_b_ca/capitulo1.pdf.
- [7] P. A. R. Vela, «Estudio y Diseño de un radioenlace para transmisión de datos, e internet en frecuencia libre la cooperativa indígena "Alfa y Omega" utilizando equipos airmax de ubiquiti,» Abril 2015. [En línea]. Available: <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/10776/1/CD-6315.pdf>.
- [8] G. Rodríguez, «Características de Antenas,» [En línea]. Available: https://www.ing.unlp.edu.ar/catedras/E0222/descargar.php?secc=0&id=E0222&id_in=21445.
- [9] U. P. d. Madrid, «Radiación y Propagación,» [En línea]. Available: <http://ocw.upm.es/teoria-de-la-senal-y-comunicaciones-1/radiacion-y-propagacion/contenidos/apuntes/presentaciones/rdpr2.pdf>.
- [10] I. Fundación Wikipedia, «Wikipedia,» 15 Noviembre 2018. [En línea]. Available: [https://es.wikipedia.org/wiki/Dipolo_\(antena\)](https://es.wikipedia.org/wiki/Dipolo_(antena)).

- [11] T. E. Cordoví Rodríguez, R. Jiménez Hernández, C. E. García Alcala y Y. Molina Puerto, «Propuestas de Antenas activas para la recepción de la televisión digital terrestre en Cuba,» [En línea]. Available: https://www.researchgate.net/publication/312056716_PROPUESTAS_DE_ANTENAS_ACTIVAS_PARA_LA_RECEPCION_DE_LA_TELEVISION_DIGITAL_TERRESTRE_EN_CUBA.
- [12] ANTENNA-THEORY.com, «La fuente en línea para el aprendizaje y la comprensión Antenas,» [En línea]. Available: <http://www.antenna-theory.com/spanish/antena.php>.
- [13] A. Bhattacharya, S. Joarder, A. Nag y M. Debnath, «WIND-PROOF LOG PERIODIC DIPOLE ARRAY FOR CAPTURING SOLAR RADIO BURSTS,» 2010. [En línea]. Available: https://www.researchgate.net/publication/50346299_WIND-PROOF_LOG_PERIODIC_DIPOLE_ARRAY_FOR_CAPTURING_SOLAR_RADIO_BURSTS.
- [14] I. Fundación Wikimedia, «Wikipedia,» 4 Mayo 2017. [En línea]. Available: https://es.wikipedia.org/wiki/Antena_de_bocina.
- [15] SELFSAT, «Antenas Planas,» 12 Noviembre 2014. [En línea]. Available: <http://www.selfsat.es/tag/antenas-planas-2/>.
- [16] «Agrupaciones de antenas (Arrays),» [En línea]. Available: <http://www.cartagena99.com/recursos/alumnos/apuntes/Tema%206%20Arrays.pdf>.
- [17] «Cable Coaxial: Tipos y Características,» 24 Agosto 2018. [En línea]. Available: <https://blog.gruponovelec.com/redes-vdi/cable-coaxial-tipos-y-caracteristicas/>.
- [18] « Fundación Wikimedia, Inc.,» 17 Noviembre 2018. [En línea]. Available: https://es.wikipedia.org/wiki/Cable_de_par_trenzado.
- [19] P. S. M. Aniceto, «La ecuación de Friss: la base de las telecomunicaciones,» 9 Mayo 2017. [En línea]. Available: <https://www.geekmag.es/tecnologia/la-ecuacion-de-friis-la-base-de-las-telecomunicaciones/>.
- [20] J. T. T. Cortés, «Propagación de RF en las bandas: LF, MF, HF, VHF, UHF y VHF,» 11 Diciembre 2003. [En línea]. Available: http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lem/soriano_m_jc/capitulo2.pdf.

- [21] C. Escobar, «Modelo Longley Rice para predicción de telecomunicaciones,» 13 Mayo 2013. [En línea]. Available: <http://www.charlesescobar.com/?p=86>.
- [22] J. Manobanda, «Modelo de Propagación de Longley-Rice,» 4 enero 2015. [En línea]. Available: <https://es.scribd.com/document/251662727/MODELO-DE-PROPAGACION-DE-LONGLEY-RICE>.
- [23] Ubiquiti, «PoE Adapters,» [En línea]. Available: <https://www.ubnt.com/accessories/poe-adapters/>.
- [24] «¿Cómo se forman las olas? Comprendiendo la predicción de olas,» 6 Marzo 2015. [En línea]. Available: <https://hoenalu.com/es/sup-blog/sup-general/prediccion-olas>.
- [25] Javier, «Monitoreo de Red: Todo lo que debes saber,» 25 Septiembre 2017. [En línea]. Available: <https://blog.pandorafms.org/es/monitoreo-de-red-que-debemos-saber/>.
- [26] L. R. R. Maltés, «Análisis y predicción de cobertura de WiMAX a 3.3-3.4 GHz para zonas rurales,» 1 Octubre 2010. [En línea]. Available: http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lem/rodriguez_m_lr/capitulo4.pdf.
- [27] Wikipedia, «Zona de Fresnel,» 31 Agosto 2018. [En línea]. Available: https://es.wikipedia.org/wiki/Zona_de_Fresnel.
- [28] F. Ramos, «Radioenlaces, Tecnologías inalámbricas y diseño de radioenlaces,» [En línea]. Available: <http://www.radioenlaces.es/articulos/category/herramientas/>.
- [29] «Radio Mobile - software de simulación de propagación de RF,» [En línea]. Available: <http://radiomobile.pe1mew.nl/>.
- [30] C. Escobar, «SPLAT GUI - 1.2,» 2012. [En línea]. Available: <http://www.charlesescobar.com/wp-content/uploads/2013/05/splat-gui1.pdf>.
- [31] Phoenix, «Software de Monitoreo de Red PRTG supervisa toda su infraestructura de TI,» [En línea]. Available: <http://www.sistemasphoenix.com.mx/prtg.html>.
- [32] PAESSLER, «PRTG, todas las funciones al detalle,» [En línea]. Available: <https://www.es.paessler.com/prtg/features>.
- [33] PAESSLER, «PRTG supervisa toda su infraestructura de TI,» [En línea]. Available: <https://www.es.paessler.com/prtg>.

