



"Responsabilidad con pensamiento positivo"

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA ISRAEL

TRABAJO DE TITULACIÓN

CARRERA: ELECTRÓNICA DIGITAL Y TELECOMUNICACIONES

TEMA: Diseño e Implementación de un enlace de comunicaciones con tecnología WIMAX entre el Comando Conjunto de las Fuerzas Armadas y el Centro de Telecomunicaciones de la FAE (CETEL)

AUTOR: Héctor Adrián Zambrano Zambrano

TUTOR: Ing. Richart Cáliz Mg.

AÑO 2015

APROBACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de Tutor del Trabajo de Titulación certifico:

Que el Trabajo de Titulación de carrera **“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN ENLACE DE COMUNICACIONES CON TECNOLOGÍA WIMAX ENTRE EL COMANDO CONJUNTO DE LAS FUERZAS ARMADAS Y EL CENTRO DE TELECOMUNICACIONES DE LA FAE (CETEL)”** presentado por el señor Héctor Adrián Zambrano Zambrano, estudiante de la carrera de Electrónica Digital y Telecomunicaciones, reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la evaluación del Tribunal de Grado, que se designe, para su correspondiente estudio y certificación.

Quito D.M. Marzo 2015

TUTOR

Ing. Richart Cáliz Mg.

AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

El abajo firmante en calidad de estudiante de la Carrera de Electrónica Digital y Telecomunicaciones, declara que los contenidos de este Proyecto Integrador de Carrera, requisito previo a la obtención del Grado de Ingeniería en Electrónica Digital y Telecomunicaciones, son absolutamente originales, auténticas y de exclusiva responsabilidad legal y académica del autor.

Quito D.M. Marzo 2015

Héctor Adrián Zambrano Zambrano

C.C. 1716974298

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los miembros del Tribunal de Grado, aprueban el Trabajo de Titulación de acuerdo con las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Tecnológica Israel para Títulos de Pregrado.

Quito D.M. Marzo 2015

Para constancia firman:

TRIBUNAL DE GRADO

PRESIDENTE

MIEMBRO 1

MIEMBRO 2

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por darme la vida y permitirme cumplir con todas mis metas y objetivos.

A mi adorada esposa y mis hijos Dhamar y Damián, fuente de mi inspiración, por su amor incondicional y total apoyo para conseguir mis objetivos.

A mis padres y hermanos por ser un gran ejemplo en mi vida, por su ayuda total y desmedida para lograr la culminación de este proyecto.

A la Universidad Tecnológica Israel, que me ha dado los conocimientos necesarios para poder concluir esta etapa de mi vida.

A mis profesores, que han sido instrumento en el caminar de mi vida estudiantil.

Un agradecimiento sincero al Ing. Richart Cáliz, mi tutor, por su dedicación, esfuerzo y por su desmedido apoyo para la culminación del proyecto.

Héctor Adrián Zambrano Zambrano

DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado a mi adorada esposa Yadira Olmedo, a mis hijos Dhamar y Damián, por ser los pilares fundamentales y fuente de inspiración en la consecución de mis objetivos, a mis padres Héctor y Miriam porque con su ejemplo me enseñaron el valor que tiene el luchar constantemente por conseguir nuestras metas, a mis hermanos Junior, María Anthonella y Luis, por acompañarme y estar siempre junto a mi cuando lo he necesitado.

Por los muchos valores y sobre todo por todo el amor que me tienen este trabajo es para ellos.

Héctor Adrián Zambrano Zambrano

Índice General

APROBACIÓN DEL TUTOR.....	II
AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN.....	III
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO.....	IV
AGRADECIMIENTO	V
DEDICATORIA	VI
Índice General.....	VII
Índice de Figuras.....	X
Índice de Tablas	XII
INTRODUCCIÓN.....	1
Descripción del Problema	1
Objetivos.....	2
Objetivo general:.....	2
Objetivos específicos:	2
CAPÍTULO I	3
FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.....	3
1 CONCEPTOS BÁSICOS.....	3
1.1 Radio Enlace.....	3
1.2 Canal de Radio.....	3
1.3 Ganancia.....	3
1.4 Línea de Vista.....	3
1.5 Ruido.....	3
1.6 Interferencia Electromagnética	4
1.7 Acceso al Medio	4
1.7.1 Técnicas de Acceso al Medio.....	4
1.7.1.1 Acceso múltiple por división de frecuencia (FDMA)	4
1.7.1.2 Acceso múltiple por división de tiempo (TDMA)	4
1.7.1.3 Acceso múltiple por división de código (CDMA)	4
1.8 Unidades Usadas en Radioenlaces	5
1.8.1 Vatio.....	5
1.8.2 Decibel (dB).....	5
1.8.3 Decibelio Milivatio (dBm)	5
1.8.4 Decibelio Isotrópico (dBi).....	6

1.8.5 Decibelio dipolo (dBd)	6
1.9 Margen y Relación Señal a Ruido (S/N)	6
1.10 Espectro Electromagnético.....	6
1.11 Bandas del Espectro Electromagnético.....	7
1.12 Espectro de Radiofrecuencia	8
1.13 Medios de Transmisión	9
1.14 Clasificación.....	9
1.14.1 Medios Guiados.....	9
1.14.2 Medios no Guiados.....	12
1.15 Estándares y protocolos empleados	13
1.16 Breve Explicación de las Capas del Modelo OSI	13
1.17 Estándar 802.16-2004, tecnologías WiMAX	15
1.18 Evolución del estándar IEEE 802.16-2009.....	16
1.20 Bandas de Frecuencia WIMAX en el Ecuador.....	19
1.21 Tipos de Modulación Soportados por el Estándar de WiMAX.....	20
1.22 Topologías	24
1.23 Propagación NLOS (Non-line-of-sight) y LOS (Line-of-sight).....	25
1.24 Zona de Fresnel.....	26
1.25 Planificación del Enlace de Radio	28
1.26 Presupuesto de Potencia de Enlace	29
1.28 Simuladores de Enlaces	30
CAPÍTULO II	34
2. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA Y BREVE DESCRIPCIÓN DEL PROCESO	
INVESTIGATIVO REALIZADO.....	34
2.1 Formato de Instrumentos Aplicados.....	37
2.2 Tabulación y Análisis de Resultados.....	39
2.3 Análisis Integral	46
CAPÍTULO III	47
PRESENTACIÓN DE LOS RESULTADOS	47
3. Propuesta del Proyecto	47
3.1. Descripción Proyecto	47
3.2. Diagrama Pictórico	47
3.3 Diagrama Esquemático	48
3.4 Cálculos Aproximados.....	49

3.5 Simulación del Proyecto.....	50
3.6 Implementación	52
3.6.1 Estación Cruz Loma	52
3.6.2 Estación CETEL.....	54
3.6.3 Configuración en la Consola Central	55
3.6.4 Configuración Suscriptor CETEL.....	58
3.7 Pruebas de Funcionamiento.....	61
Conclusiones.....	63
Recomendaciones.....	64
Bibliografía.....	65
ANEXOS.....	67
Anexo 1 Certificado de la Empresa	68
Anexo 2 Entrevista al personal del CETEL.....	70
Anexo 3 Datasheet Macro Station y CPE	77
Anexo 4 Manual de Radio Mobile	80

Índice de Figuras

Figura 1.1 Bandas del Espectro Electromagnético	7
Figura 1.3 Subcapas del protocolo 802.16-2004.....	19
Figura 1.4 Bandas de Frecuencia WIMAX.....	19
Figura 1.5 Diagrama a bloques del modulador OFDM.....	22
Figura 1.6 Topología Punto Multipunto PMP	24
Figura 1.7 Topología Multipunto Multipunto o Malla MP-MP	25
Figura 1.8 Sistema Line of Sight	26
Figura 1.9 Sistema Non Line of Sight	26
Figura 1.10 Primera Zona de Fresnel	27
Figura 1.11 Calculo zona Fresnel	28
Figura 1.12 Trayectoria completa de transmisión entre el transmisor y el receptor	29
Figura 2.1 Análisis Pregunta 1	39
Figura 2.2 Análisis Pregunta 2	40
Figura 2.3 Análisis Pregunta 3	41
Figura 2.4 Análisis Pregunta 4	42
Figura 2.5 Análisis Pregunta 5	43
Figura 2.6 Análisis Pregunta 6	44
Figura 2.7 Análisis Pregunta 7	45
Figura 3.2. Diagrama del radioenlace propuesto.....	48
Figura 3.3. Vista Panorámica del Enlace.....	50
Figura 3.4. Resultados de la simulación del radioenlace	50
Figura 3.5 Resultados exportados a Google Earth	51
Figura 3.6. Cuarto de Equipos estación Cruz Loma.....	52
Figura 3.7. MacroStation Cruz Loma	52
Figura 3.8. Antena Externa Sectorial	53
Figura 3.9 Torre donde se encuentra instalada la Antena	53
Figura 3.10. Banco de Baterías de la MacroStation	54
Figura 3.12. Torre y cuarto de Equipos	55
Figura 3.13. Ventana principal de la consola de gestión.....	55
Figura 3.14. Vista de la Macro Station y sus componentes	56
Figura 3.15. Vista los suscriptores enlazados a la Macro Station.....	56
Figura 3.16. Asignación de servicio a brindar (vlan de trabajo)	57
Figura 3.17. Asignación de la tasa de transmisión constante CIR y tipo de QoS	57
Figura 3.18. Resumen de configuración del suscriptor CETEL	58
Figura 3.19. Resumen de configuración del suscriptor CETEL	58

Figura 3.20. Configuración de nombre de usuario y password.....	59
Figura 3.21. Configuración de ID de identificación en la red.....	59
Figura 3.22. Configuración de ancho de banda.....	60
Figura 3.23. Configuración de frecuencia de trabajo.....	60
Figura 3.24. Resumen de configuración del suscriptor CETEL ingreso por consola ...	61
Figura 3.25. Niveles de recepción.....	61
Figura 3.26. Prueba de conectividad con un servidor de la FAE	62
Figura 3.27. Prueba de acceso a los servicios web de la FAE	62

Índice de Tablas

Tab. 1.1 Características de las versiones del estándar 802.16	17
Tab. 2.1 Tabulación pregunta 1.....	39
Tab. 2.2 Tabulación pregunta 2.....	40
Tab. 2.3 Tabulación pregunta 3.....	41
Tab. 2.4 Tabulación pregunta 4.....	42
Tab. 2.5 Tabulación pregunta 5.....	43
Tab. 2.6 Tabulación pregunta 6.....	44
Tab. 2.7 Tabulación pregunta 7.....	45
Tab. 3.1 Presupuesto del radioenlace	49

INTRODUCCIÓN

El avance tecnológico, la acelerada evolución de las comunicaciones, ha permitido el desarrollo de la sociedad abarcando grandes áreas geográficas, lo que facilita interconectar varias redes LAN (Local Area Network) que físicamente se encuentran muy separadas a través de “puentes” denominados redes WAN.

Los usuarios comúnmente utilizan la red de INTERNET como red WAN para comunicarse debido a su bajo costo, pero esto trae consigo algunos inconvenientes como por ejemplo que la red se encuentra todo el tiempo congestionada para transmitir los recursos como: voz (telefonía) o videos (multimedia), sin dejar de lado la inseguridad que esta red ofrece.

A nivel empresarial la transmisión de información a través del internet es aceptable estableciendo canales privados de comunicación, los cuales pertenecen a la misma empresa.

Para implementar enlaces de comunicación WAN se pueden utilizar varias tecnologías como por ejemplo a través de medios guiados utilizando PPP (Point to Point Protocol), HDLC (High-Level Data Link Control), Frame Relay, pero el inconveniente es que resulta muy costosa su implementación en grandes distancias, también se pueden utilizar las redes inalámbricas de banda ancha, BWA (Broadband Wireless Access), como un ejemplo de este tipo de tecnología WIMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access), representa una opción para la implementación de un enlace WAN ya que ofrece calidad de servicio basada en el encabezado del paquete IP, además de la compatibilidad con el protocolo TCP/IP. (ANDREWS, 2007)

Descripción del Problema

Las nuevas instalaciones del Centro de Telecomunicaciones de la FAE, de ahora en adelante denominado CETEL, ubicadas en la parroquia de Yaruquí se comunican a través de un sistema Multiacceso lo que dificulta la comunicación

directa con el alto mando de Fuerzas Armadas ubicado en Quito, así como el acceso a los servidores y aplicativos ubicados en las unidades militares a nivel nacional y el acceso a la red de telefonía de Fuerzas Armadas, por lo que la agilidad y dinamismo que deben tener las operaciones militares se entorpecen al no contar con la información de manera oportuna, lo que provoca la pérdida de recursos del Estado así como también puede ocasionar la pérdida de vidas del personal que se emplea en las operaciones.

Objetivos

Objetivo general:

Implementar un sistema de comunicaciones en la estación CETEL a través de un enlace con tecnología WIMAX para brindar servicios de telefonía, internet y acceso a la red de datos de Fuerzas Armadas.

Objetivos específicos:

- Realizar un análisis en fuentes bibliográficas, internet y la asesoría de los tutores de manera que permitan ampliar el conocimiento referente al diseño y la forma para realizar un radio enlace, los cálculos necesarios, los factores que influyen en dicha comunicación para desarrollarlo de una manera adecuada.
- Diagnosticar la situación actual de las instalaciones del CETEL a fin de brindar la mejor solución de comunicaciones.
- Realizar los cálculos necesarios para determinar la factibilidad de realizar el enlace.
- Simular el radioenlace, en base al software RADIO MOBILE y GOOGLE EARTH, los cuales permitirán de manera virtual apreciar el funcionamiento del enlace.
- Implementar el radioenlace respetando las normas para el establecimiento de comunicaciones por radiofrecuencia.
- Comprobar el funcionamiento de la comunicación realizando las pruebas correspondientes en el campo real.

CAPÍTULO I

FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

1 CONCEPTOS BÁSICOS

1.1 Radio Enlace

Es el conjunto de equipos de transmisión y recepción necesarios para el envío vía radio de una señal de uno a otro nodo o centro de una red. (TOMASI, 2003, pág. 2)

1.2 Canal de Radio

Se refiere al par de frecuencias de trabajo a emplear en una comunicación, pudiendo ser éstas para su uso en recepción, transmisión o para ambas. (TOMASI, 2003, pág. 8)

1.3 Ganancia

Magnitud adimensional que expresa la relación entre la amplitud de una señal de salida respecto a la señal de entrada, se mide en unidades como belio (símbolo: B) o submúltiplos de éste como el decibelio (símbolo: dB). (TOMASI, 2003, pág. 782)

1.4 Línea de Vista

Término utilizado en radiofrecuencia para un enlace de radio con visibilidad directa entre la antena transmisora y la receptora. (TOMASI, 2003, pág. 781)

1.5 Ruido

Perturbación eléctrica que sufre la señal deseada en su forma de onda en el tiempo, así como cualquier otra señal no deseada que acompañe a la de interés, y que por estar en su misma banda de frecuencia y con niveles perceptibles perturba su correcta recepción. Su acción no es controlable. (TOMASI, 2003, pág. 34)

1.6 Interferencia Electromagnética

EMI (Electromagnetic Interference), es el conjunto de señales de radiofrecuencia no deseadas captadas por los receptores de un sistema, y que degradan la sensibilidad de una portadora. (TOMASI, 2003, pág. 40)

1.7 Acceso al Medio

Son mecanismos mediante los cuales los sistemas de comunicaciones coordinan para utilizar un recurso compartido, que en este caso es el espectro electromagnético; este proceso se lo realiza cuando los terminales del sistema están en funcionamiento coordinado, así como cuando están en proceso de adquisición inicial. (ESCALONA, 2004, pág. 220)

1.7.1 Técnicas de Acceso al Medio

1.7.1.1 Acceso múltiple por división de frecuencia (FDMA)

El acceso al medio se realiza dividiendo el espectro de frecuencia disponible en slots, que corresponden a distintos rangos de frecuencia, asignando estos canales a los distintos usuarios, sin interferirse entre sí. (ESCALONA, 2004, pág. 221)

1.7.1.2 Acceso múltiple por división de tiempo (TDMA)

El acceso al medio se realiza utilizando el mismo rango de frecuencias, durante un intervalo predeterminado de tiempo para cada terminal. (ESCALONA, 2004, pág. 224)

1.7.1.3 Acceso múltiple por división de código (CDMA)

El acceso al medio se realiza de manera similar que en FDMA pero en lugar de frecuencias separadas se asignan códigos digitales únicos, que son conocidos tanto por el transmisor como por el receptor, por lo tanto, todos los usuarios comparten el mismo rango del espectro electromagnético. (ESCALONA, 2004, pág. 230)

1.8 Unidades Usadas en Radioenlaces

1.8.1 Vatio

El vatio o watt (símbolo W), es la unidad de potencia activa del Sistema Internacional de Unidades (SI). Es la potencia eléctrica producida por una diferencia de potencial de 1 voltio y una corriente eléctrica de 1 amperio (1 VA). (ESCALONA, 2004, pág. 35)

1.8.2 Decibel (dB)

Equivale a la décima parte de un bel. Es una unidad de referencia para medir la potencia de una señal o la intensidad de un sonido.

Los logaritmos son muy usados debido a que la señal en decibeles (dB) puede fácilmente tener valores muy altos o muy pequeños y también por la razón de que el oído humano responde naturalmente a niveles de señal en una forma aproximadamente logarítmica (Ec. 1). (ESCALONA, 2004, pág. 42)

$$dB = 10 \log \frac{P_{final}}{P_{referencia}} \quad (1)$$

Existen algunas reglas generales para aproximarse a la relación entre los dB y la potencia:

- Un incremento de 3 dB duplica la potencia.
- Una reducción de 3 dB reduce la potencia a la mitad.
- Un incremento de 10 dB es igual a 10 veces la potencia.
- Una reducción de 10 dB es igual a una décima parte de la potencia.

1.8.3 Decibelio Milivatio (dBm)

El dBm es una unidad logarítmica a la potencia de 1 milivatio (Ec. 2). Por lo tanto, mide potencia absoluta. Será positivo cuando se refiera a valores superiores a 1mW y negativo para valores inferiores a 1 mW. (TOMASI, 2003, pág. 45)

$$dBm = 10 \log \frac{P}{0.001 W} = 10 \log \frac{P}{1mW} \quad (2)$$

1.8.4 Decibelio Isotrópico (dBi)

Es usado para expresar la ganancia de una antena común en comparación con una antena teórica isotrópica. Una antena isotrópica radia energía por igual en todas las direcciones, en forma de esfera. Una antena isotrópica no existe en el mundo real, pero es útil para calcular coberturas teóricas y áreas débiles. (ESCALONA, 2004, pág. 46)

1.8.5 Decibelio dipolo (dBd)

Usado para expresar la ganancia de una antena en comparación con una antena dipolo a la misma frecuencia. Una antena dipolo es la antena práctica más pequeña que se puede fabricar. (ESCALONA, 2004, pág. 47)

1.9 Margen y Relación Señal a Ruido (S/N)

La relación señal/ruido (SNR o S/N) se define como la relación que hay entre la potencia de la señal que se transmite y la potencia del ruido que la corrompe. Esta relación es medida en decibelios. (TOMASI, 2003, pág. 40)

1.10 Espectro Electromagnético

Se denomina espectro electromagnético a la distribución energética del conjunto de las ondas electromagnéticas.

El espectro electromagnético se extiende desde la radiación de mayor frecuencia, como los rayos gamma y los rayos X, pasando por la luz ultravioleta, la luz visible y los rayos infrarrojos, hasta las ondas electromagnéticas de menor frecuencia, como son las ondas de radio. Cuando los electrones se mueven crean ondas electromagnéticas que se pueden propagar por el espacio libre (aun en el vacío). (TOMASI, 2003, pág. 4)

En el vacío, todas las ondas electromagnéticas viajan a la misma velocidad, no importa cuál sea su frecuencia, f . Esta velocidad, por lo general llamada

velocidad de la luz, c , es de aproximadamente 3×10^8 m/s, es el límite máximo de velocidad. Ningún objeto o señal puede moverse más rápido que la luz. La relación fundamental entre frecuencia, f , longitud de onda, λ , y la velocidad de la luz, c , (en el vacío) se representa en la Ec. 3:

$$c = \lambda f \quad (3)$$

1.11 Bandas del Espectro Electromagnético

El espectro electromagnético (Fig.1.1), se extiende desde las bajas frecuencias usadas para la radio moderna (extremo de la onda larga) hasta los rayos gamma (extremo de la onda corta), que cubren longitudes de onda de entre miles de kilómetros y la fracción del tamaño de un átomo. (TOMASI, 2003, pág. 5)

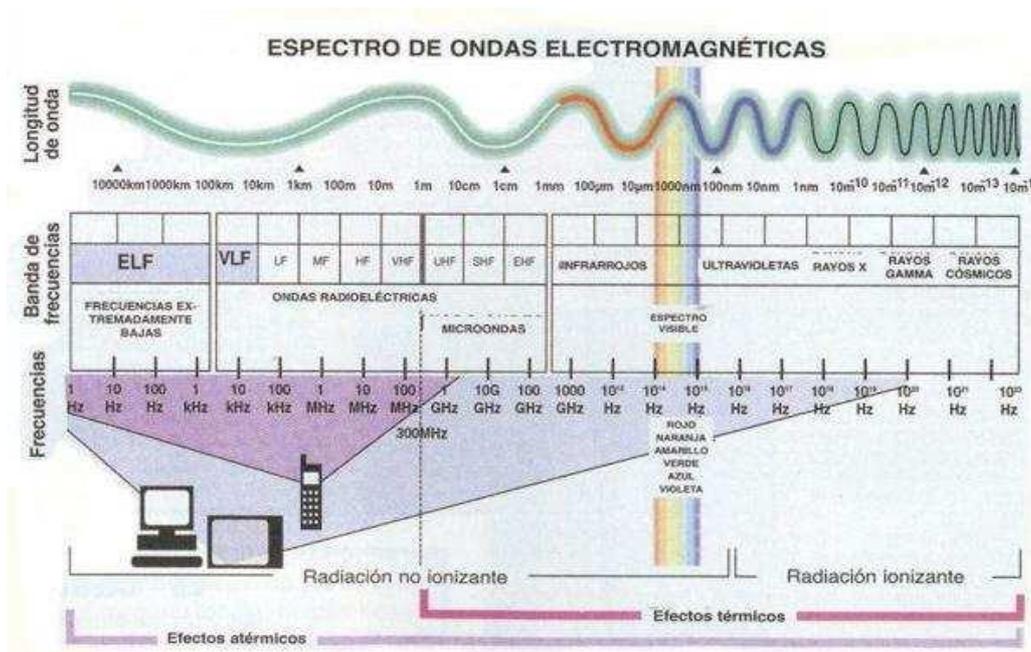


Fig. 1.1 Bandas del Espectro Electromagnético
Fuente: (Dirección General de Protección Civil y Emergencias, 2004)

1.12 Espectro de Radiofrecuencia

El espectro de radiofrecuencia o RF, se aplica a la porción menos energética del espectro electromagnético, situada entre unos 3 Hz y unos 300 GHz como se muestra en la Fig. 1.2.

Las ondas electromagnéticas de esta región del espectro se pueden transmitir aplicando la corriente alterna originada en un generador a una antena. (TOMASI, 2003, pág. 5)

DISTRIBUCIÓN CONVENCIONAL DEL ESPECTRO RADIOELECTRICO					
SIGLA	DENOMINACIÓN	LONGITUD DE ONDA	GAMA DE FRECUENC.	CARACTERISTICAS	USO TIPICO
VLF	VERY LOW FRECUENCIES Frecuencias muy bajas	30.000 m a 10.000 m	10 KHz a 30 KHz	Propagación por onda de tierra, atenuación débil. Características estables.	ENLACES DE RADIO A GRAN DISTANCIA
LF	LOW FRECUENCIES Frecuencias bajas	10.000 m. a 1.000 m.	30 KHz a 300 KHz	Similar a la anterior, pero de características menos estables.	Enlaces de radio a gran distancia, ayuda a la navegación aérea y marítima.
MF	MEDIUM FRECUENCIES Frecuencias medias	1.000 m. a 100 m.	300 KHz a 3 MHz	Similar a la precedente pero con una absorción elevada durante el día. Propagación prevalentemente ionosférica durante la noche.	RADIODIFUSIÓN
HF	HIGH FRECUENCIES Frecuencias altas	100 m. a 10 m.	3 MHz a 30 MHz	Propagación prevalentemente ionosférica con fuertes variaciones estacionales y en las diferentes horas del día y de la noche.	COMUNICACIONES DE TODO TIPO A MEDIA Y LARGA DISTANCIA
VHF	VERY HIGH FRECUENCIES Frecuencias muy altas	10 m. a 1 m.	30 MHz a 300 MHz	Prevalentemente propagación directa, esporádicamente propagación ionosférica o Troposférica.	Enlaces de radio a corta distancia, TELEVISIÓN, FRECUENCIA MODULADA
UHF	ULTRA HIGH FRECUENCIES Frecuencias ultra altas	1 m. a 10 cm.	de 300 MHz a 3 GHz	Exclusivamente propagación directa, posibilidad de enlaces por reflexión o a través de satélites artificiales.	Enlaces de radio, Radar, Ayuda a la navegación aérea, TELEVISION
SHF	SUPER HIGH FRECUENCIES Frecuencias superaltas	10 cm. a 1 cm.	de 3 GHz a 30 GHz	COMO LA PRECEDENTE	Radar, Enlaces de radio
EHF	EXTRA HIGH FRECUENCIES Frecuencias extra-altas	1 cm. a 1 mm.	30 GHz a 300 GHz	COMO LA PRECEDENTE	COMO LA PRECEDENTE
EHF	EXTRA HIGH FRECUENCIES Frecuencias extra-altas	1 mm. a 0,1 mm.	300 GHz a 3.000 GHz	COMO LA PRECEDENTE	COMO LA PRECEDENTE

Fig. 1.2 Bandas del Espectro Radioeléctrico
Fuente: (WordPress, 2010)

A partir de 1 GHz las bandas están dentro del espectro de las microondas. Por encima de 300 GHz la absorción de la radiación electromagnética por la atmósfera terrestre es tan alta que la atmósfera se vuelve opaca a ella,

hasta que, en los denominados rangos de frecuencia infrarrojos y ópticos, vuelve de nuevo a ser transparente.

1.13 Medios de Transmisión

Los medios de transmisión constituyen el medio físico a través del cual el emisor y receptor pueden comunicarse en un sistema de comunicaciones. Existen dos tipos de medios: guiados y no guiados. La transmisión en cualquiera de los medios se realiza por medio de ondas electromagnéticas. Los medios guiados llevan las ondas a través de un medio físico, como por ejemplo el cable coaxial, la fibra óptica, par trenzado. Los medios no guiados brindan un soporte para que las ondas se propaguen, como por ejemplo el aire y el vacío. La calidad de la transmisión depende de la naturaleza del medio junto con la señal a transmitir. En el caso de los medios guiados son las propiedades del material los que determinan las limitaciones de la transmisión, como por ejemplo, velocidad de transmisión, ancho de banda, espaciado entre repetidoras. Sin embargo, los medios no guiados, están más determinados por las frecuencias y ancho de banda de las señales a transmitir por la antena más que por el propio medio. (CISCO, 2011, pág. 273)

1.14 Clasificación

1.14.1 Medios Guiados

1.14.1.1 Par Trenzado

Consiste en una secuencia de alambres individuales de cobre, por lo general de 1mm de espesor, los alambres son entrelazados en forma helicoidal. El trenzado se utiliza para reducir la interferencia eléctrica con los pares cercanos que se encuentran a su alrededor. (CISCO, 2011, pág. 274)

Existen dos tipos de par trenzado:

- **UTP** (Unshielded Twisted Pair)

Par trenzado no apantallado, es el tipo más frecuente de medio de transmisión que se usa en la actualidad. Por su rango de frecuencias es

adecuado para transmitir tanto datos como señales analógicas (voz). Cada hilo conductor va forrado por un aislamiento plástico de color, que se asigna para identificación. (CISCO, 2011, pág. 276)

Dependiendo de la velocidad de transmisión ha sido dividida en diferentes categorías:

- **Categoría 1:** Hilo telefónico, tiene un ancho de banda de 1 MHz
 - **Categoría 2:** Tiene un ancho de banda de 4 MHz
 - **Categoría 3:** Velocidad de transmisión de hasta 10 Mbps y ancho de banda de 16 MHz
 - **Categoría 4:** Velocidad de transmisión de hasta 20 Mbps y ancho de banda de 20 MHz
 - **Categoría 5:** Velocidad de transmisión de hasta 100 Mbps y ancho de banda de 100 MHz
 - **Categoría 6:** Velocidad de transmisión de hasta 1Gbps y ancho de banda de 250 MHz
 - **Categoría 7:** Velocidad de transmisión de hasta 10 Gbps y ancho de banda de 600 MHz
-
- **STP (Shielded Twisted Pair)**

Par trenzado apantallado, dispone de una funda de metal o recubrimiento de malla entrelazada, que rodea a cada par de conductores aislados.

Las características físicas del STP son similares a las del UTP exceptuando la conexión a tierra que requiere el primero. También ofrece un mayor ancho de banda que los cables UTP (200 MHz y 600 MHz) para una impedancia de 150 Ω . (CISCO, 2011, pág. 279)

1.14.1.2 Cable Coaxial

El cable coaxial está compuesto por un alambre de cobre que representa el núcleo, este se encuentra cubierto por un material aislante. Este aislante está rodeado una malla metálica de tejido trenzado. La parte externa está cubierta por una capa de plástico protector.

El ancho de banda de este tipo de cable depende de la longitud del mismo;, por ejemplo para cables de 1km, se pueden obtener velocidades de hasta 10Mbps, a menor longitud, es factible obtener velocidades superiores. (CISCO, 2011, pág. 278)

Existen dos variantes principales del cable coaxial:

- Cable coaxial de banda base

Posee una impedancia de 50 Ω , usado en transmisión digital.

- Cable coaxial de banda ancha

Posee una impedancia de 75 Ω , usado en transmisión analógica, muy conocido por utilizarse para la televisión por cable.

1.14.1.3 Fibra Óptica

El cable de fibra óptica se encuentra hecho de cristal o plástico, este guía los impulsos de luz para llevar la comunicación desde un origen hacia el destino. Este tipo de cable puede transmitir datos a grandes velocidades con un gran ancho de banda. (CISCO, 2011, pág. 280)

Un sistema de transmisión por fibra óptica está formado por una fuente luminosa muy monocromática (generalmente un láser), y la fibra que es la encargada de transmitir la señal luminosa y al final un fotodiodo que ayuda reconstruir la señal eléctrica.

Existen dos tipos de fibra:

- **Fibra Multimodo**

En una fibra multimodo los haces de luz circulan por más de un modo o camino. Esto quiere decir que no llegan todos al mismo tiempo. Las fibras multimodo se usan comúnmente en aplicaciones de distancia menor a 1 km; son simples de diseñar y económicas. (CISCO, 2011, pág. 282)

- **Fibra Monomodo**

Una fibra óptica monomodo es en la que sólo se propaga un modo de luz. Se logra reduciendo el diámetro del núcleo de la fibra hasta un tamaño (8,3 a 10 micrones) que sólo permite un modo de propagación. A diferencia de las fibras multimodo, las fibras monomodo permiten alcanzar grandes distancias (hasta 400 km máximo, mediante un láser de alta intensidad) y transmitir elevadas tasas de información (decenas de Gbps). (CISCO, 2011, pág. 282)

1.14.2 Medios no Guiados

1.14.2.1 Radio

Las ondas de radio son fáciles de generar, pueden viajar a distancias largas y penetrar en edificios sin problemas, de modo que se utilizan mucho en comunicaciones. (ESCALONA, 2004, pág. 240)

Estas ondas son omnidireccionales, lo que significa que viajan en todas las direcciones desde la fuente, por lo que el receptor y el transmisor no tienen que alinearse.

1.14.2.2 Microondas

Se denomina microonda a las ondas electromagnéticas definidas en un rango de frecuencias determinado generalmente entre 300 MHz y 300 GHz.

Además de su aplicación en hornos, las microondas permiten transmisiones tanto terrestres como satelitales. Debido al rango de frecuencias que se encuentra en la rango de 1 a 10 GHz, las microondas se vuelven extremadamente direccionales y sólo se pueden utilizar cuando exista línea de vista entre el emisor y receptor. Estos enlaces permiten velocidades de transmisión, en el orden de los 10 Mbps. (ESCALONA, 2004, pág. 243)

1.14.2.3 Infrarrojos

Este medio es muy atractivo para redes de corta distancia. Esto se debe a que

es incapaz de atravesar un sólido, es necesaria la alineación entre emisor y receptor como ocurre con las microondas.

El infrarrojo ofrece un amplio ancho de banda que transmite señales a velocidades muy altas (supera los 10 Mbps). (ESCALONA, 2004, pág. 244)

1.15 Estándares y protocolos empleados

Todo sistema de comunicaciones se compone de emisor, receptor, mensaje, canal, y reglas. La función de las reglas es coordinar a los demás componentes para que los mensajes puedan ser enviados y descifrados correctamente. En la práctica dichas reglas reciben el nombre de protocolos y son elaborados por organismos internacionales con el fin de establecer un marco común para que los equipos de distintos fabricantes sean interoperables. (CISCO, 2011, pág. 49)

1.16 Breve Explicación de las Capas del Modelo OSI

1.16.1 Capa de Aplicación

Es la capa de interfaz con el usuario de los modelos OSI y TCP/IP, esta proporciona la interfaz entre las aplicaciones que y el usuario. Los protocolos que se utilizan sirven para intercambiar la información entre las aplicaciones que se ejecutan en los hosts de origen y destino. (CISCO, 2011, pág. 61)

1.16.2 Capa de Presentación

La capa de presentación tiene tres funciones principales:

- Codificar y convertir los datos de la capa de aplicación de manera que garantice que dichos datos de origen puedan ser interpretados por la aplicación adecuada en el dispositivo de destino.
- Realizar la compresión de los datos para que puedan ser descomprimidos por dispositivo de destino.
- Encriptar los datos para que sean transmitidos y la descryptación de los mismos cuando lleguen a su destino. (CISCO, 2011, pág. 63)

1.16.3 Capa de Sesión

La función de esta capa consiste en crear y mantener diálogos entre los programas de origen y destino. Además maneja la información para el inicio de diálogos así como mantenerlos activos, también permite reiniciar las sesiones que se interrumpen o desactivan durante un periodo de tiempo prolongado. (CISCO, 2011, pág. 63)

1.16.4 Capa de Transporte

La capa de transporte segmenta los datos y brinda además el control necesario para reconstruir al final las partes dentro del segmento de comunicación. Las principales responsabilidades que cumple son:

- Rastrear la comunicación entre las aplicaciones ubicadas en los hosts de origen y destino.
- Segmenta los datos y administra cada parte.
- Reensamblaje de los segmentos en streams para obtener los datos de aplicación
- Identificar cada una de las diferentes aplicaciones. (CISCO, 2011, pág. 93)

1.16.5 Capa de Red

Provee servicios para intercambiar datos individuales a través de la red entre dispositivos finales. Para realizar este transporte la Capa de Red utiliza cuatro procesos básicos:

- Direccionamiento
- Encapsulación
- Enrutamiento
- Desencapsulación (CISCO, 2011, pág. 126)

1.16.6 Capa de Enlace de Datos

Proporciona el medio para acceder a la red de datos a través de medios locales.

La capa de enlace de datos realiza dos servicios básicos:

- Permite el acceso de las capas superiores a los medios físicos usando tramas.
- Controla la manera de ubicar los datos en cada medio y cómo se reciben dichos datos desde los medios a través del control de acceso a los medios, así como la detección de errores. (CISCO, 2011, pág. 230)

1.16.7 Capa Física

Proporciona el medio de transporte para cada uno de los bits que componen una trama a través de los medios físicos. Esta capa acepta la trama desde la capa de Enlace, la codifica esta señal como una secuencia de bits que se transmiten en los medios físicos. (CISCO, 2011, pág. 262)

Para realizar el envío de información se requiere de algunos elementos como son:

- Medios físicos con sus respectivos conectores.
- La representación o mapeo de cada bit en los medios.
- Codificación de los datos y de la información.
- Sistema de recepción y transmisión en los dispositivos de red

1.17 Estándar 802.16-2004, tecnologías WiMAX

Al estar definido por un estándar los equipos WIMAX tienen una gran ventaja, que se puede comunicar con cualquier otra tecnología basada en estándares IEEE.

El protocolo 802.16 que rige al WIMAX se ha modificado varias veces, creándose así diversas versiones desde su creación, algunas añaden funciones o mejoran las existentes, otras son recopilaciones o correcciones.

En la actualidad la versión oficial es la IEEE 802.16-2009 que es la revisión y agrupación de los estándares 802.16-2004 (802.16-2001, 802.16c-2003, 802.16a-2002), 802.16e-2005 y 802.16-2004/Cor1-2005, 802.16f-2005 y 802.16g-2007. (ANDREWS, 2007, pág. 33)

1.18 Evolución del estándar IEEE 802.16-2009

El grupo de trabajo 802.16 creó los estándares 802.16-2001 y 802.16c-2002. Mientras que el grupo de trabajo 802.16a creó el estándar 802.16a-2003. Finalmente el estándar 802.16-2004 fue la revisión y consolidación de estos.

En general el 802.16-2001 aporta las técnicas para trabajar con línea de vista (LOS), mientras que el 802.16a-2003 las referentes para hacerlo sin ella (NLOS). La principal diferencia entre estos estándares es la banda de frecuencias de operación, para el grupo de trabajo 802.16 era de 10-66 [GHz] mientras que para el grupo 802.16a era de 2-11 [Ghz], siendo esta última la que se adoptó para el 802.16-2004. (ANDREWS, 2007, pág. 34)

Existen tres términos que en la vida cotidiana presentan confusión pero que deberían utilizarse correctamente: nomadicidad, movilidad y portabilidad. Se tiene por ejemplo un escenario en el que dos estaciones base contiguas pertenecen al mismo operador. Un usuario que realiza un hand-off entre una y otra deberá iniciar una sesión nuevamente. A esto se le llama nomadicidad.

Ahora, el concepto de movilidad ocurre cuando el usuario puede viajar a lo largo de varias celdas cubiertas por diferentes estaciones base sin la interrupción de su transmisión de datos, voz o video y sin un límite de velocidad que condicione este movimiento. Y, por último, el concepto de portabilidad se presenta cuando el usuario puede moverse a una velocidad razonablemente alta (alrededor de los 120 km/h) sin la interrupción de una posible sesión o una comunicación abierta.

La siguiente tabla resume las características de las versiones del 802.16 que se han publicado a la fecha:

Versión	Descripción
802.16	Publicado en abril 2002, es el primer conjunto de especificaciones, contiene las referentes para operar en el intervalo de frecuencias de 19

CONT

	a 66 GHz exclusivamente con línea de vista y en topología PTMP. La máxima velocidad de transmisión es de 134 Mbps en celdas de hasta 5 km.
802.16 a	Publicado en enero de 2003, es una expansión del 802.16 para operar en el intervalo de frecuencias de 2 a 11 GHz, soportar transmisiones LOS y NLOS, así como topologías PTP, PTMP
802.16 c	Publicado en abril de 2003, es una expansión del 802.16 para especificar las operaciones en el intervalo de frecuencias de 10 a 66 GHz
802.16 d	Publicado oficialmente como la versión 802.16-2004. Agrupa la revisión de las versiones anteriores más los perfiles aprobados por WiMAX fórum.
802.16 e	Publicado en diciembre de 2005, extensión de la versión anterior que incluye las especificaciones para los dispositivos móviles.

Tabla No.1.1 Características de las versiones del estándar 802.16

Fuente: ANDREWS, Jeffrey, *Fundamentals of WiMAX understanding Broadband Wireless Networking*, ed. Prentice Hall

1.19 Subcapa MAC (Media Access Control)

Los dispositivos basados en el estándar 802.16-2004 cumplen con una arquitectura de red basada en la subdivisión en capas de acuerdo al modelo de interconexión para sistemas abiertos (OSI), y especifican determinadas características de la subcapa MAC (Media Access Control) (dentro de la capa de enlace de datos) y la capa física.

Desde la publicación de los estándares IEEE 802.x se dividió la capa de enlace de datos en las subcapas LLC y MAC con la finalidad de tener una interfaz compatible con el protocolo de la capa de red sin importar el medio físico utilizado para la transmisión. (CISCO, 2011, pág. 230)

Para explicar cómo se maneja el paquete una vez que es transferido hacia dichas capas es necesario describir los siguientes términos debido a que cuando una información se desplaza a través de la torre de protocolos recibe una denominación determinada, estos términos son:

- SDU (Service Data Unit): Se denomina así a la unidad de datos cuando asciende o desciende en la torre de protocolos, dichos protocolos deben ser adyacentes.
- PDU (Protocol Data Unit): Es la unidad de datos intercambiada entre protocolos en la misma altura de la torre de protocolos pero en puntos (ubicaciones) distintos.

En general la subcapa MAC del estándar 802.16-2004 cumple las funciones de:

- Convertir la SDU recibida de la subcapa LLC a una MAC PDU.
- Seleccionar el flujo al que corresponde la PDU por medio del CID y del SFID asociado.
- Brindar calidad de servicio (QoS) a través del mapeo del SFID a determinada "clase de servicio", este concepto comprende los mecanismos de "scheduling", todo esto se desarrolla a detalle en el capítulo de descripción del equipo.
- Administrar retransmisiones de PDU's de ser requeridas.

- Proporcionar seguridad sobre el canal inalámbrico.

La figura siguiente representa la pila de subcapas que describe el estándar 802.16-2004

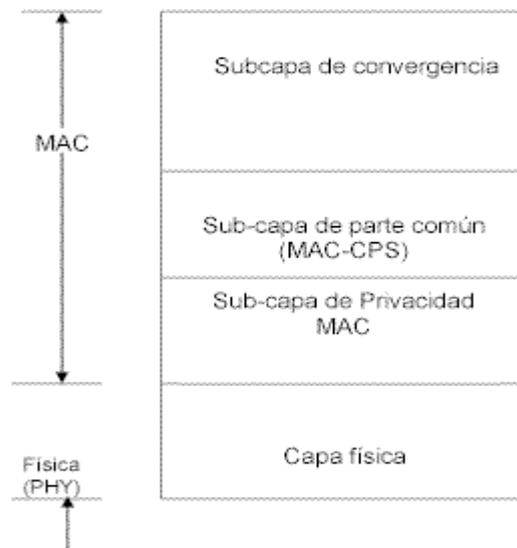


Fig. 1.3 Subcapas del protocolo 802.16-2004
Fuente: (ANDREWS, 2007, pág. 308)

1.20 Bandas de Frecuencia WIMAX en el Ecuador

En el Ecuador se aprobará la operación de sistemas de radiocomunicaciones que utilicen técnicas de Modulación Digital de Banda Ancha en las siguientes bandas de frecuencias:

Bandas (MHz)
902- 928
2400 – 2483.5
5150 - 5250
5250 - 5350
5470 - 5725
5725 - 5850

Fig. 1.4 Bandas de Frecuencia WIMAX
Fuente: (SENATEL, 2005, pág. 3)

1.20.1 BANDA DE 2,5 A 2,7GHZ

De acuerdo a los instructivos encontrados en la SENATEL se deben definir los siguientes sistemas de enlaces: punto – punto, punto-multipunto y móviles.

La clase del sistema a operar: privado o de explotación.

La banda especificada dentro de este rango es 2400MHz – 2483,5 MHz, para sistemas fijos y móviles.

El tipo de operación de WIMAX será OFDM (SENATEL, 2005, pág. 3)

1.20.2 BANDA DE 5,1 A 5,8GHZ

Se deben definir los siguientes sistemas de enlaces: punto – punto, punto-multipunto y móviles.

La clase del sistema a operar: privado o de explotación.

La banda especificada dentro de este rango es 5150 MHz – 5250 MHz, 5250 MHz – 5350 MHz, 5470 MHz – 5725 MHz y 5725 MHz – 5850 MHz,

El tipo de operación de WIMAX será OFDM (SENATEL, 2005, pág. 4)

1.21 Tipos de Modulación Soportados por el Estándar de WiMAX.

1.21.1 OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing)

OFDM es una técnica de multiplexaje y modulación multiportadora. Puede verse cómo una adaptación de la modulación en frecuencia que es capaz de transmitir en banda ancha y alcanza altas velocidades de transmisión. (ANDREWS, 2007, pág. 70)

La técnica OFDM es capaz de mitigar las atenuaciones selectivas, la ISI (Inter Symbol Interference) e ICI (Inter Carrier Interference). Su funcionamiento es el siguiente: (ANDREWS, 2007, pág. 117)

- Toma una alta tasa de transmisión y la divide en N flujos de una menor tasa de transmisión.

La primera etapa se implementa con un convertidor serial a paralelo, el cual divide el flujo principal a los N subcanales. Cada subcanal cuenta con un modulador 64QAM el cual reduce aún más la tasa de transmisión de cada subcanal.

Este paso incrementa la duración de T_s (tiempo de duración de un subcanal), haciendo al sistema robusto contra la ISI (Inter Symbol Interference). Además haciendo uso de diferentes subcanales si se presenta atenuación selectiva sólo algunos subcanales son afectados, los demás pueden transmitiendo sin problemas.

- "Disfrazar" los símbolos de los subcanales como el espectro de una señal (la moduladora).

Se implementa a través de la IFFT (Inverse Fast Fourier Transform), (especificada de 254 puntos para WiMAX fijo), esta es una transformación del dominio de la frecuencia al dominio tiempo.

La IFFT (FFT) presenta la ventaja de que el espectro se representa mediante componentes discretas, finitas y equiespaciadas. Al ser discretas y finitas pueden obtenerse a partir de los valores de los símbolos QAM en los subcanales. La separación entre las componentes puede manipularse, esta representa la banda de guarda y puede reducirse al mínimo. Además representados mediante diferentes frecuencias los canales son ortogonales entre sí.

- La salida de la IFFT es enviada a un convertidor paralelo-serial, anteriormente le es agregado el prefijo cíclico (Cyclic Prefix). (ANDREWS, 2007, pág. 119)

La secuencia a la salida del convertidor paralelo a serial es la base del símbolo OFDM. Con el fin de combatir la ISI e ICI parte del comienzo de secuencia es copiada y agregada al final de la secuencia original, dicha copia se denomina prefijo cíclico.

El prefijo cíclico tiene una duración que es usada como tiempo de guarda para contrarrestar el ISI. Si cómo tiempo de guardia se cesa la transmisión se genera un cambio brusco en la secuencia lo cual expande su espectro y genera ICI entre los subcanales, en cambio el prefijo cíclico sigue el mismo comportamiento de la secuencia original por lo que la modificación del espectro es mínimo o nula y se garantiza la ortogonalidad de los subcanales.

- La secuencia más el prefijo son convertidos a una señal analógica la cual es modulada y radiada al aire. El proceso de recepción involucra los mismos bloques pero en sentido inverso.

El diagrama siguiente es el diagrama a bloques sobre el cuál se realiza el proceso descrito:

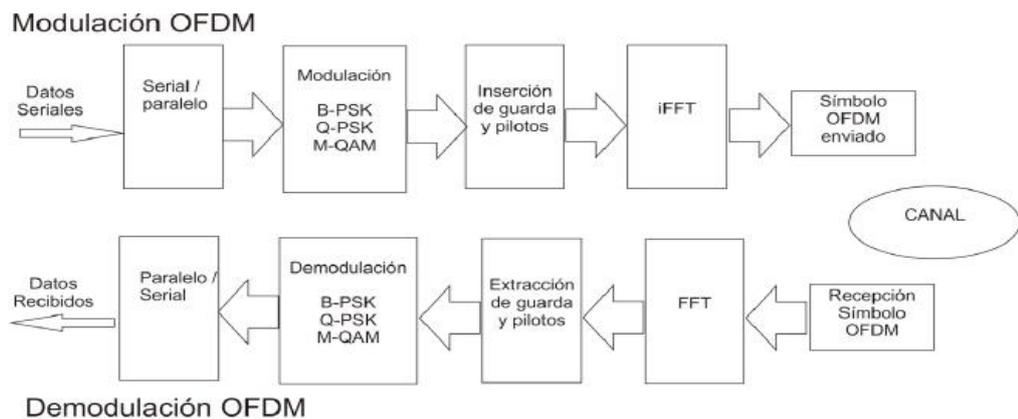


Fig. 1.5 Diagrama a bloques del modificador OFDM
Fuente: (ELSERVIER Ingeniería, Investigación y Tecnología, 2014)

También puede comprobarse la ortogonalidad mediante las propiedades matemáticas de la convolución circular de la transformada rápida de Fourier. (ANDREWS, 2007, pág. 117)

Las funciones de convolución circular en el tiempo y de producto en el dominio de la frecuencia son:

$$y[n] \equiv f[n] \circledast h[n] \quad \text{Ec (4)}$$

$$Y[k] = F[k]H[k]$$

1.21.2 Modulación BPSK (Binary Phase Shift Keying)

BPSK es una modulación digital binaria de fase. Esto es, que cada símbolo de la modulación está representado por un bit (por sus dos posibles valores: 0 y 1). El resultado de esta modulación es una señal muy robusta e inmune al ruido al elegir entre π y $-\pi$ de acuerdo al valor del bit de información. Una de las formas más comunes de ilustrar una modulación digital es mediante el uso de la constelación, la cual se muestra a continuación para BPSK. (TOMASI, 2003, pág. 478)

1.21.3 Modulación QPSK (Quadrature Phase Shift Keying)

Cuando se desea tener mayor eficiencia espectral, es decir, tener más b/s por cada Hz (b/s/Hz) de ancho de banda, se recurre a modulaciones de mayor orden, justificando la elección de la modulación QPSK por encima de BPSK.

Similar a la modulación BPSK, esta modulación consiste en dos bits para representar cuatro posibles fases con una separación de $\pi/2$ entre ellas. Por ejemplo: En el receptor, la demodulación es más complicada, pues es más difícil decidir entre que entre "0" "1" (como en BPSK). (TOMASI, 2003, pág. 484)

Es por ello que se dice que la modulación QPSK presenta menor inmunidad al ruido. Es importante recordar que mientras mayor sea la modulación, será más eficiente espectralmente, pero menos robusta ante el ruido.

1.21.4 QAM (Quadrature Amplitude Modulation): 16-QAM y 64-QAM

La modulación QAM cambia las amplitudes de dos portadoras sinusoidales dependiendo de la secuencia que deba ser transmitida; las portadoras se encuentran desfasadas entre sí $+\pi/2$, esta modulación de amplitud es llamada cuadratura. De acuerdo a la teoría de comunicaciones digitales, gracias al concepto de cuadratura, la modulación 4-QAM resulta ser la misma que la modulación QPSK. (TOMASI, 2003, pág. 496)

La modulación 64-QAM es la más eficiente (b/s/Hz) incluida en el estándar 802.16; en ella, se transmiten 6 bits por cada símbolo de la modulación.

1.22 Topologías

El estándar 802.16-2004 define dos topologías para los nodos conectados dentro de una red WiMAX:

- Punto a multipunto (PMP)
- Malla (Mesh). También conocida como Multipunto a multipunto (MP-MP)

La principal diferencia entre estos dos modos es la manera en que se llevan a cabo las conexiones. En el modo PMP, el tráfico puede viajar solamente entre la Base Station (BS) y el suscriptor, y por el contrario, en el modo malla, los nodos están conectados entre sí, de modo que aquellos que estén fuera de la cobertura de la BS, puedan establecer una conexión con algún otro nodo y concretar el envío de información hasta ella. (ESCALONA, 2004, pág. 280)

En el entorno de una topología PMP, para que dos nodos puedan establecer una comunicación entre sí, los datos deben viajar necesariamente a través de la Base Station (BS). Dicha estación utiliza antenas con un ancho de haz relativamente grande dividido en varios sectores que proveen en conjunto una cobertura de 360° con una o más antenas. Para lograr la cobertura completa de una zona, frecuentemente se requiere más de una BS, las cuales deben ser conectadas entre sí mediante enlaces de radio, fibra óptica o algún medio similar. Los suscriptores utilizan antenas direccionales apuntando a la BS y compartiendo el canal de radio. Esto se puede lograr mediante varios métodos de acceso como TDMA y CDMA. (ESCALONA, 2004, pág. 284)

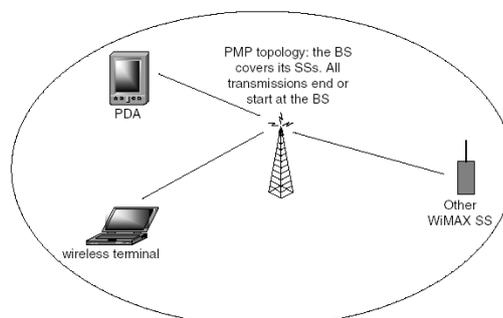


Figure 3.5 PMP topology

Fig. 1.6 Topología Punto Multipunto PMP
Fuente: (ELECTRÓNICA FÁCIL, 2011)

Por otro lado, en la configuración malla, cada nodo pueda crear una comunicación con otro nodo sin necesidad de conectarse con la BS previamente. En consecuencia, una de las principales ventajas de esta topología, es que el alcance de una BS se maximiza al poderse comunicar con nodos más lejanos. (ESCALONA, 2004, pág. 290)

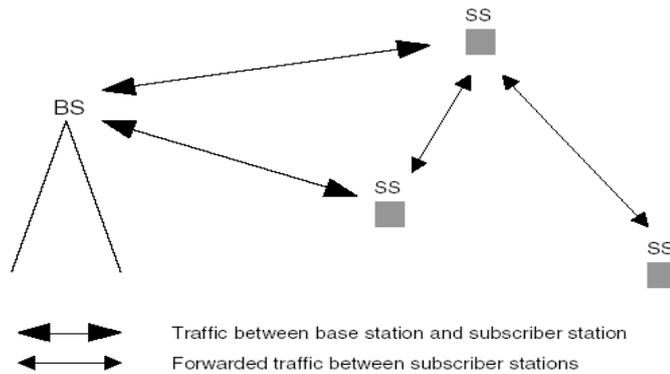


Fig. 1.7 Topología Multipunto Multipunto o Malla MP-MP
Fuente: (ELECTRÓNICA FÁCIL, 2011)

1.23 Propagación NLOS (Non-line-of-sight) y LOS (Line-of-sight)

La calidad de una transmisión estará afectada por diversos factores, entre ellos, la presencia de obstáculos entre los extremos de la comunicación. Se definen dos tipos de propagación para cualquier tecnología inalámbrica de transmisión de información: transmisión en línea de vista (LOS) y transmisión sin línea de vista (NLOS). (Redline communications, 2010, pág. 23)

El término LOS se refiere a la propagación de las ondas electromagnéticas viajando con una trayectoria de línea recta, sin obstáculo alguno presente entre el transmisor y el receptor. De acuerdo al estándar, la condición para que una transmisión se considere como LOS, se debe cumplir con que >60% del trayecto de la señal esté libre de obstáculos dentro de la primera zona de Fresnel. (Redline communications, 2010, pág. 23)

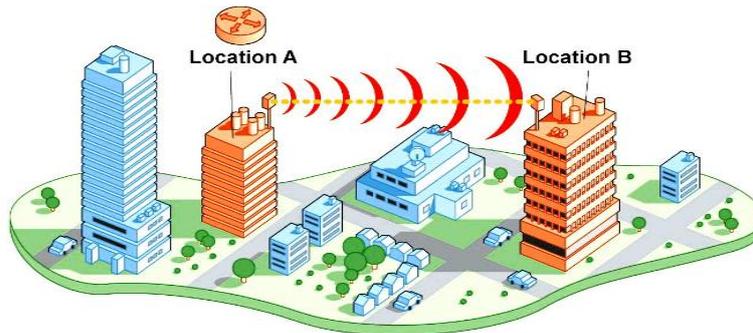


Fig. 1.8 Sistema Line of Sight
Fuente: (Redline communications, 2010, pág. 23)

Y, por el contrario, la transmisión NLOS es aquella en la que se presentan obstáculos como edificios, árboles, montañas o líneas de alto voltaje entre el transmisor y el receptor. Esto tiene como consecuencia una señal recibida más débil, ocasionando mala calidad, baja tasa de transmisión o incluso, una posible interrupción en la comunicación. (Redline communications, 2010, pág. 24)

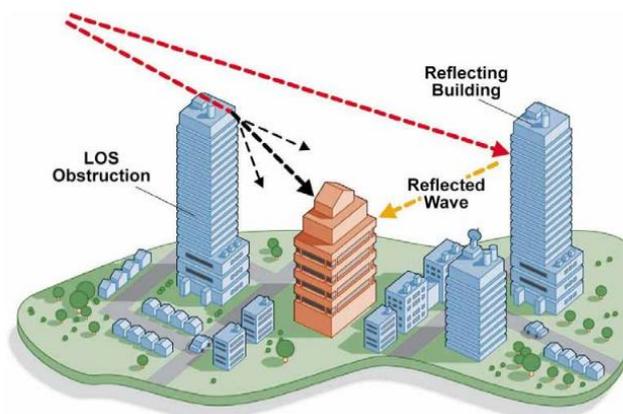
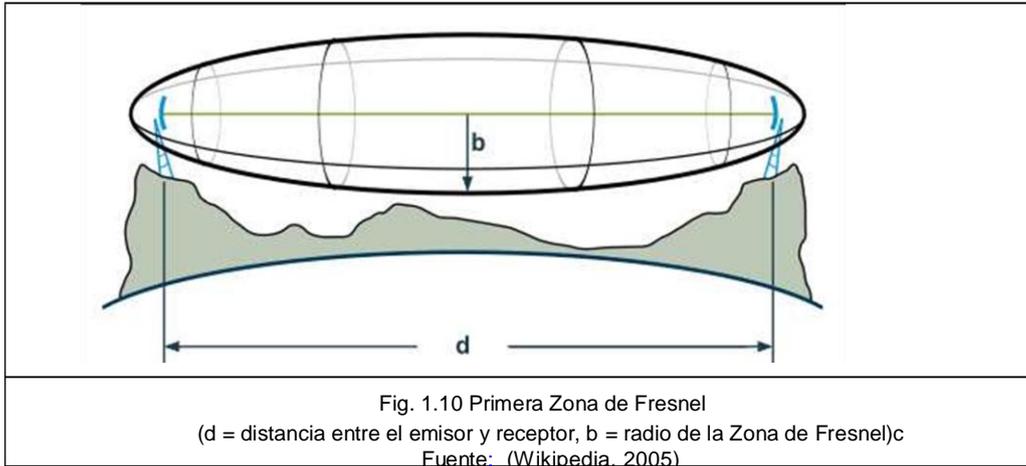


Fig. 1.9 Sistema Non Line of Sight
Fuente: (Redline communications, 2010, pág. 24)

1.24 Zona de Fresnel

Se denomina al área donde se propaga una onda luego de ser transmitida, como se indica en la figura 10. Mientras menos obstáculos haya en esta área, mejor será transmitida la onda. “La primera Zona de Fresnel se define como: el espacio entre el transmisor de una onda y un receptor, de manera que el desfase entre las ondas en dicho espacio no supere los 180° ”. (Wikipedia, 2014)



“La Zona de Fresnel ayuda a determinar la altura idónea para ubicar el NODO y CPE a fin de establecer un enlace confiable dependiendo de la frecuencia y la distancia:” (TAMAX Wireless and It blog, 2008)

La constante de Fresnel mostrada en la ecuación 5 establece lo siguiente:

$$r = 17,32 \sqrt{\frac{D}{4f}} \quad \text{Ec (5)}$$

* r = radio en metros

* D = distancia total del enlace en kilómetros

* f = frecuencia del enlace en gigahertz (2.4, 5.8Ghz, etc)

Así, para un enlace de 3km, al aplicar la fórmula, se necesitará un radio de 9.68mts, por lo que el NODO y el CPE deberían estar ubicados al menos a 10mts de altura. En el caso de que el del nodo se encuentre a mayor altura (40mts por ejemplo) el CPE se puede ubicar a una altura menor para poder realizar el radioenlace (Fig. 1.11). (TAMAX Wireless and It blog, 2008)

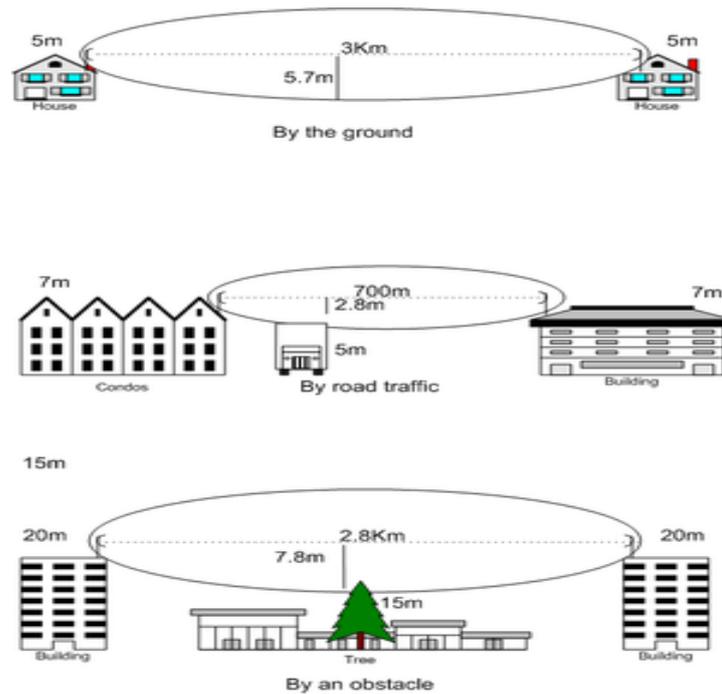


Fig. 1.11 Calculo zona Fresnel
Fuente: (TAMAX Wireless and It blog, 2008)

La obstrucción máxima para considerar que no hay interferencia es el 40% de la primera zona de Fresnel. La obstrucción recomendada es el 20%. En comunicaciones de radio dependen del factor K (curvatura de la tierra), y se considera que para un $K=4/3$ la primera zona de Fresnel debería estar despejada en un 100%, en cambio que para un estudio con $K=2/3$ la Zona Fresnel debe estar despejada el 60%. (Wikipedia, 2014)

1.25 Planificación del Enlace de Radio

La planificación del enlace radioeléctrico de un sistema de radiocomunicaciones comienza con el cálculo del alcance. Para ello se deben conocer la banda de frecuencias, las características climáticas de la zona y las especificaciones técnicas de los equipos de radio: potencia del transmisor, ganancia de las antenas, sensibilidad del receptor, tasa de error, disponibilidad. La utilización de software de simulación con mapas digitales del terreno y de las construcciones es una valiosa herramienta de ayuda en la planificación del enlace. A través de estas herramientas es posible ubicar lo mejor posible las localizaciones para la instalación de las antenas y determinar su alcance y su

cobertura, así como la interferencia que puede existir en otros enlaces vecinos, como son sistemas celulares o de sistemas de radio punto a multipunto. (TRICALCAR, 2009, pág. 4)

1.26 Presupuesto de Potencia de Enlace

El presupuesto de potencia para un radio enlace punto a punto es el resultado de la sumatoria de ganancias y pérdidas desde el transmisor hacia el receptor. Determinar el valor de potencia en diferentes puntos del enlace se hace necesario para obtener el mejor diseño así como el equipamiento adecuado. (TRICALCAR, 2009, pág. 4)

1.27 Elementos de un presupuesto de potencia de enlace



Fig. 1.12 Trayectoria completa de transmisión entre el transmisor y el receptor
Fuente: (TRICALCAR, 2009, pág. 4)

Los elementos se dividen en tres partes principales:

- El lado de transmisión.
- Pérdidas en la propagación, (pérdidas en espacio libre)
- El lado de recepción.

Un presupuesto de radio enlace es la suma de todos los componentes (en decibeles) dentro de las tres partes principales. (TRICALCAR, 2009) Así:

$$\text{Margen del sistema} = \text{Potencia del transmisor [dBm]} - \text{Pérdida en el cable TX [dB]} + \text{ganancia de antena TX [dBi]} - \text{Pérdidas en la trayectoria en el espacio abierto [dB]} + \text{ganancia de antena RX [dBi]} - \text{Pérdidas en el cable del RX [dB]} - \text{Pérdidas y atenuaciones adicionales [dB]} - \text{Sensibilidad del receptor [dBm]}$$

Donde:

$$P_{inRX} = \text{Potencia del transmisor [dBm]} - \text{Pérdida en el cable TX [dB]} + \text{ganancia de antena TX [dBi]} - \text{Pérdidas en la trayectoria en el espacio abierto [dB]} + \text{ganancia de antena RX [dBi]} - \text{Pérdidas en el cable del RX [dB]} - \text{Pérdidas y atenuaciones adicionales [dB]} = \text{Potencia nominal del receptor}$$

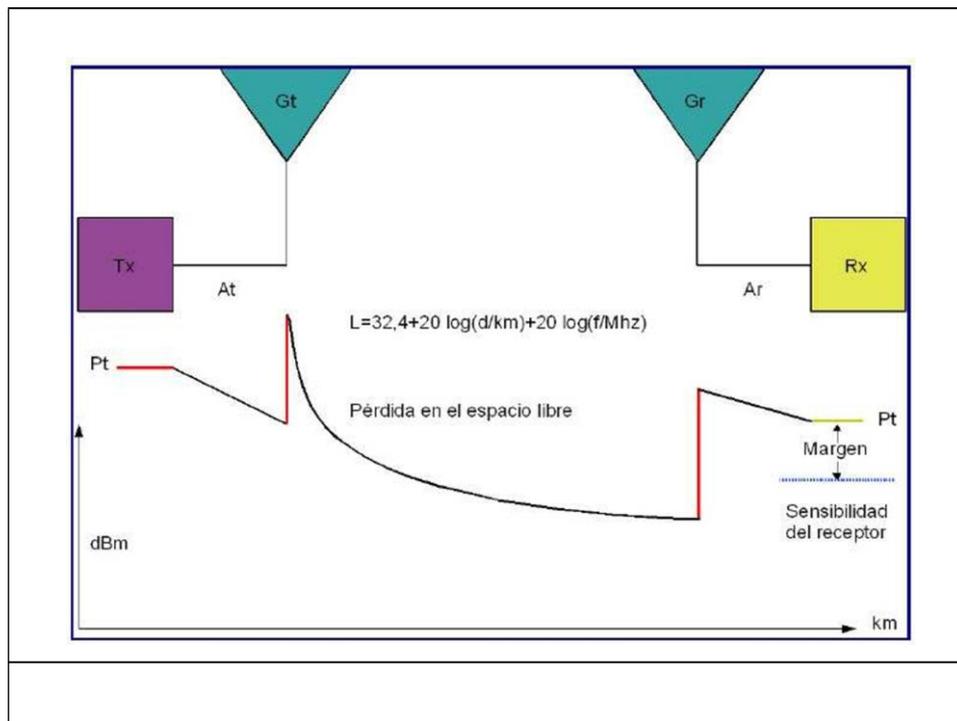


Fig. 1.13 Potencia en dBm en función de la distancia para un radioenlace
Fuente: (TRICALCAR, 2009, pág. 5)

1.28 Simuladores de Enlaces

1.28.1 Radio Mobile

Es un software de simulación de radioenlaces, el cual no requiere licenciamiento y que permite simular enlaces dentro del rango de 20 MHz a 20 GHz, basándose en el modelo de propagación ITM (Irregular Terrain Model) (Fig. 14).

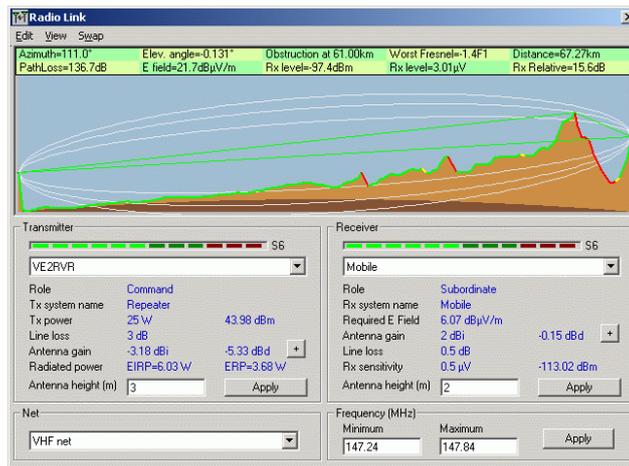


Fig. 1.14 Ejemplo de radioenlace realizado con Radio Mobile
Fuente: (REMER Red Radio de Emergencia, 2005)

Radio Mobile es un software de simulación creado en el año 1998 por el ingeniero Roger Coudé, este utiliza los datos de elevación del terreno para obtener un perfil del terreno entre el emisor y el receptor. Las características técnicas de los transceptores y los datos obtenidos del terreno sirven para condicionar el modelo de propagación de las ondas conocido como "Irregular Terrain Model", en cual está basado en el algoritmo de Longley-Rice y que se encuentra integrado en el programa, además permite determinar la cobertura de un sistema de comunicaciones que trabaja una frecuencia en el rango de los 20 y los 20 000 MHz. (REMER Red Radio de Emergencia, 2005)

El performance de las unidades tanto transmisora como receptora se puede especificar detallando su potencia, la sensibilidad, los parámetros de la antena, entre otros, los enlaces que se configuran entre las unidades también pueden ser personalizados. El patrón de cobertura se puede considerar para cada unidad cuando sea necesario. Presenta la característica (Mejor Sitio) que sugiere los mejores lugares de emplazamiento.

1.28.2 Aplicaciones

Entre las aplicaciones de Radio Mobile, podemos destacar:

- Predicción del rendimiento de sistemas radio.
- Análisis de la cobertura de un sistema sin necesidad de realizar mediciones sobre el terreno.

- Evaluación de emplazamientos óptimos para la instalación de repetidores fijos o móviles.
- Visualización 2D y 3D de modelos digitales del terreno.
- Extracción del perfil topográfico de un radioenlace.
- Interfaz con GPS (*Global Positioning System*).
- Interfaz con APRS (*Automatic Position Reporting System*).

1.28.3 XIRIO Online

La herramienta de simulación XIRIO Online permite realizar simulaciones profesionales de cobertura en cualquier parte del mundo además de entornos tanto urbanos como rurales, utilizando mapas de alta resolución. Con XIRIO Online se pueden diseñar redes sin disponer de herramientas de cartografía digital propias.

Este software de simulación, desarrollado por la empresa APTICA, cuenta con dos módulos de trabajo: PLANNINGTOOL, que es la herramienta de planificación radioeléctrica genérica y SHAREPLACE como aplicación de consulta e intercambio de resultados.

PLANNINGTOOL permite la planificación radioeléctrica de enlaces de comunicaciones, ya sean estos: móviles (GSM, LTE), de radiodifusión (TV, DVB-T, FM), acceso a banda ancha (WIMAX, WiFi). Sus posibilidades de aplicación son ilimitadas siempre y cuando se cuente con los datos técnicos de cada una de las tecnologías. (XIRIO Online)

1.28.4 Pathloss

El programa Pathloss es una herramienta de diseño de ruta completa para enlaces de radio que operan en el rango de frecuencias de 30 MHz a 100 GHz. El programa está organizado en ocho módulos de diseño de ruta, un módulo de cobertura de la señal de área y un módulo de red que integra las trayectorias de radio y análisis de cobertura de área. Cambio entre los módulos se consigue seleccionando el módulo de la barra de menús.

Un perfil del terreno es un requisito previo para acceder a la mayoría de los módulos de diseño en el programa. Este consiste en una mesa de distancia y elevaciones entre los dos sitios. Perfiles del terreno se crean en este módulo utilizando cualquiera de los métodos siguientes:

- Entrada manual de distancias y elevaciones de mapas topográficos
- Entrada directa de la distancia - datos de elevación a partir de mapas topográficos utilizando una tableta digitalizadora.
- Conversión de distancia - los datos de elevación en archivos de texto de otras fuentes datos de distancia-elevación se lee de una base de datos del terreno.

El diseño ha sido optimizado para la entrada manual de datos y la edición. Estructuras individuales (árboles, edificios o torres de agua) o rangos de estructuras se pueden agregar al perfil. (PATHLOSS)

CAPÍTULO II

2. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA Y BREVE DESCRIPCIÓN DEL PROCESO INVESTIGATIVO REALIZADO

La carencia de un radioenlace entre el Centro de Telecomunicaciones de la FAE y el Comando Conjunto de las Fuerzas Armadas que permita la transmisión de datos y telefonía IP, representa un obstáculo para el normal desarrollo de las operaciones militares, así como operaciones de búsqueda y rescate lo que provoca la pérdida de recursos del Estado así como también puede ocasionar la pérdida de vidas del personal que se emplea en las operaciones.

Para el desarrollo del tema en primera instancia se planteó como objetivo principal: Implementar un sistema de comunicaciones en la estación CETEL a través de un enlace con tecnología WIMAX para brindar servicios de telefonía, internet y acceso a la red de datos de Fuerzas Armadas.

Los objetivos específicos permitirán recabar información sobre el tema así como determinar las condiciones técnicas favorables para llegar con éxito a la finalización del proyecto.

La hipótesis del presente proyecto se encuentra planteado de la siguiente manera: la implementación del sistema de comunicación con un enlace WIMAX en la estación CETEL permitirá mejorar la comunicación al poder transmitir VoIP y datos mejorando así las limitaciones que actualmente disponen con el enlace Multiacceso.

Para la realización del presente proyecto se utiliza la topología PMP (Punto Multipunto) ya que el terminal se conecta a la Macro Station que se encuentra en la estación repetidora Cruz Loma, la misma que provee del acceso a la red a varios equipos terminales ubicados en varios punto de la ciudad de Quito, el tipo de modulación a utilizar trabaja en modo adaptativo variando entre 64-QAM (Quadrature Amplitude Modulation) y BPSK (Binary phase-shift keying), dependiendo del lugar de transmisión del CPE (Customer premises equipment).

Se realiza el cálculo de la primera zona Fresnel para verificar la idoneidad del enlace, además se establece el presupuesto del radioenlace lo cual ayuda a determinar que el margen de recepción sea el adecuado para este enlace. El equipamiento actual que se dispone trabaja con el estándar 802.16e, el cual permite tener flujo de datos en tiempo real que genera paquetes sean estos de tamaño fijo o variable que se emiten en intervalos periódicos. Para la simulación del enlace se utiliza el software Radio Mobile debido a su flexibilidad y facilidad para ingresar la información de las estaciones tanto de transmisión como de recepción, así como su integración con Google Earth y verificar la topografía del terreno en un entorno un poco más práctico.

El sistema transmite datos a una velocidad de 2 Mbps, pero si por necesidades del usuario al implementar aplicaciones de mayor peso se podrá aumentar la capacidad de transmitir datos a una velocidad de hasta 5 Mbps, para evitar saturar la Macro Station que tiene una capacidad máxima de 25 Mbps.

Si se llegara al límite de la capacidad de transmisión de este enlace, por el incremento de aplicaciones o el número de usuarios, existe la posibilidad de migrar a un enlace de radio IP con una mayor capacidad de transmisión.

El método analítico – sintético, aporta nuevos conocimientos y fortalece los ya establecidos, a través de la recolección de información es decir, a más de proporcionar nueva información, se puede sugerir la formación de nuevas hipótesis para corroborar las ya existentes.

La encuesta es una técnica de investigación con enfoque principalmente cuantitativo. Su finalidad es recabar información de mucha importancia que sirva para realizar la propuesta de radio enlace entre dos puntos ubicados en la ciudad. Sus ventajas son: La objetividad de la recopilación de la información, tratamiento estadístico de la información, se puede realizar procedimientos de inferencias. Es un instrumento con un bajo costo y con un carácter científico. Permite conocer opiniones, actitudes, intereses y deseos de una determinada población de estudio.” (PALACIOS, 2007)

Fórmula:

$$n = \frac{Z^2 * p * q}{e^2 (N - 1) + o^2 * p * q} \quad \text{Dónde:} \quad (6)$$

n = Tamaño de la

muestra.

P y Q = Probabilidad de éxito. P y Q = 0.25

e = error muestra 5% = 0,05

Z = Constante = 1.96

En este caso el universo que se va a tomar en cuenta para la aplicación de la encuesta será el personal que presta sus servicios en la FAE.

La muestra se la va a tomar directamente del personal que presta sus servicios en la estación CETEL.

2.1 Formato de Instrumentos Aplicados



“Responsabilidad con pensamiento positivo”

“UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA ISRAEL”

FACULTAD CIENCIAS DE LA INGENIERÍA

ESCUELA DE ELECTRÓNICA DIGITAL Y TELECOMUNICACIONES

Compañeros de antemano les hago llegar un cordial saludo y solicito su colaboración en el desarrollo de la siguiente encuesta.

Objetivo: Determinar si es necesaria la migración a un enlace WIMAX para acceder a los servicios de la Red de Datos del COMACO.

Responda las siguientes preguntas

Marque con una X la respuesta de su elección

1.- ¿Conoce que tipo de enlace se dispone al momento en el CETEL?

SI	
NO	

2.- ¿Ha utilizado los servicios que se disponen en el COMACO o la FAE?

SI	
NO	

3.- ¿Actualmente disponen de acceso a los servicios de la Red de Datos del COMACO?

SI	
NO	

4.- ¿Cree usted que el enlace actual que dispone el CETEL dificulta el desenvolvimiento normal de los procesos tanto Administrativos como Operativos?

SI	
NO	

5.- ¿Conoce acerca de los enlaces de última milla que dispone el COMACO?

SI	
NO	

6.- ¿Cree usted que es importante disponer de una canal mediante el cual se pueda transmitir información de carácter confidencial de manera rápida y segura?

SI	
NO	

7.- ¿Le interesaría tener acceso directo a la Red Estratégica del COMACO en tiempo real mediante un enlace con tecnología WIMAX?

SI	
NO	

Fecha: _____

*******Gracias por su colaboración compañeros*******

2.2 Tabulación y Análisis de Resultados

1.- ¿Conoce que tipo de enlace se dispone al momento en el CETEL?

TABLA NO 1	NÚMERO DE ENCUESTADOS	SI	NO
TOTAL	30	25	5
PORCENTAJE	100%	83,33%	16,67%

Tab. 2.1 Tabulación pregunta 1
Fuente: Elaboración Propia

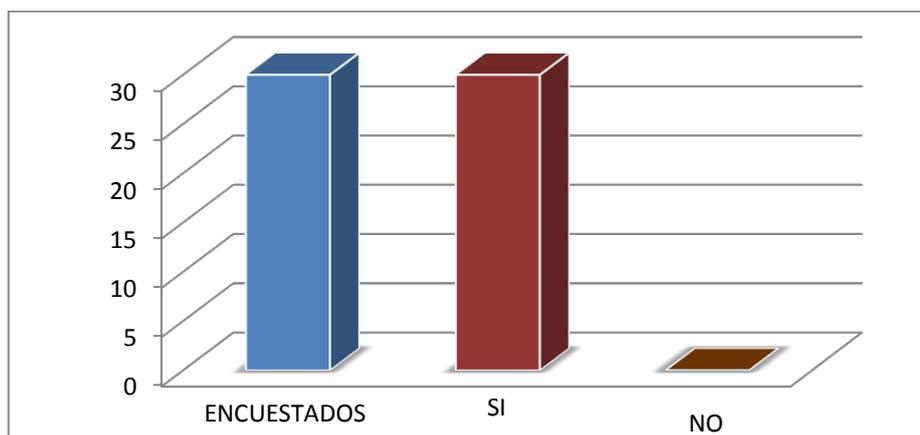


Fig. 2.1 Análisis Pregunta 1
Fuente: Elaboración Propia

Interpretación:

Se puede concretar que un 87,5% del número de encuestados conoce sobre el medio de enlace que disponen con el COMACO y solo un 7,5% de personas no conocen del tema evidenciando claramente la necesidad que surge de implementar un nuevo enlace, el mismo que será de gran utilidad para el desarrollo de las actividades del CETEL.

2.- ¿Ha utilizado los servicios que se disponen en el COMACO o la FAE?

TABLA NO 2	NÚMERO DE ENCUESTADOS	SI	NO
TOTAL	30	30	0
PORCENTAJE	100%	100,00%	0,00%

Tab. 2.2 Tabulación pregunta 2
Fuente: Elaboración Propia

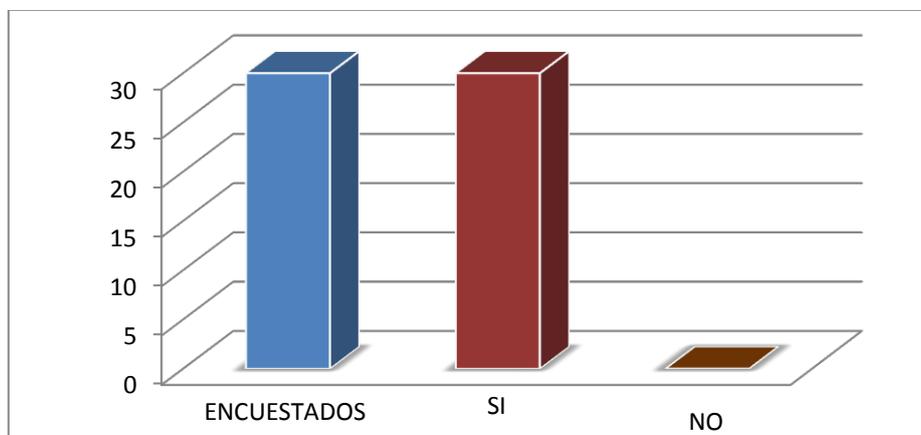


Fig. 2.2 Análisis Pregunta 2
Fuente: Elaboración Propia

Interpretación:

El 100% de las personas encuestadas ha utilizado los servicios que disponen el COMACO y la FAE y han manifestado la molestia al no poder hacerlo directamente desde su lugar de trabajo, dificultando de esta manera los trámites de ámbito personal así como laboral, lo que permite sustentar el desarrollo del proyecto.

3.- ¿Actualmente disponen de acceso a los servicios de la Red de Datos del COMACO?

TABLA NO 3	NÚMERO DE ENCUESTADOS	SI	NO
TOTAL	30	4	26
PORCENTAJE	100%	13,33%	86,67%

Tab. 2.3 Tabulación pregunta 3
Fuente: Elaboración Propia

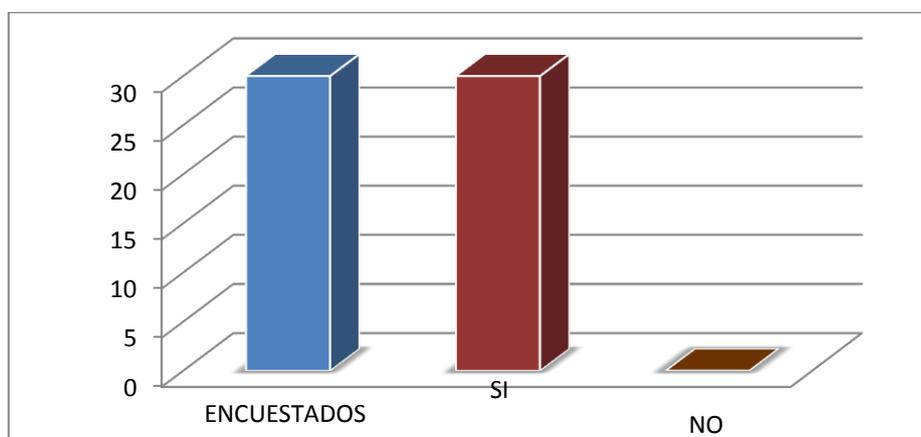


Fig. 2.3 Análisis Pregunta 3
Fuente: Elaboración Propia

Interpretación:

Se deduce que casi el 90% de personas encuestadas no tiene un medio de acceso a los servicios que dispone el COMACO el 10% manifiesta que dispone de medios particulares como por ejemplo planes de datos móviles, los cuales brindan el acceso pero al ser a través de internet se exponen a ataques como por ejemplo vulneración de identidad (phishing).

4.- ¿Cree usted que el enlace actual que dispone el CETEL dificulta el desenvolvimiento normal de los procesos tanto Administrativos como Operativos?

TABLA NO 4	NÚMERO DE ENCUESTADOS	SI	NO
TOTAL	30	30	0
PORCENTAJE	100%	100,00%	0,00%

Tab. 2.4 Tabulación pregunta 4
Fuente: Elaboración Propia

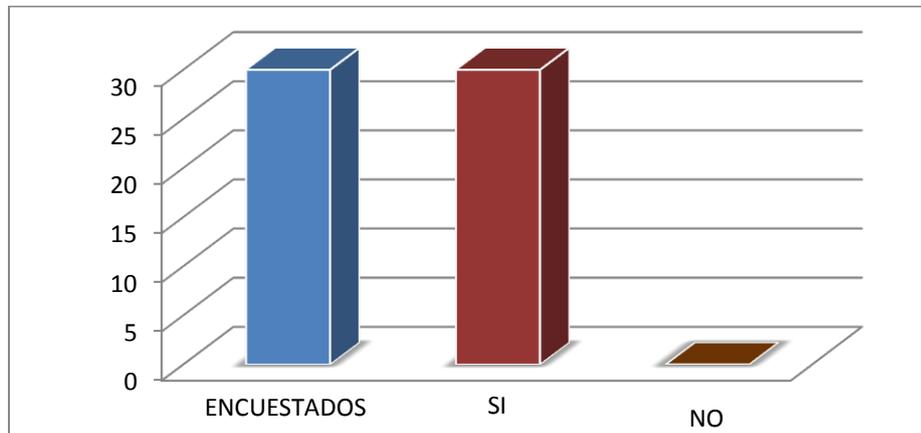


Fig. 2.4 Análisis Pregunta 4
Fuente: Elaboración Propia

Interpretación:

La totalidad del personal encuestado manifiesta la dificultad para poder enviar la información de interés hacia el Alto Mando Militar, ya que se tiene que hacer con mensajero o por valija y al encontrarse ubicado en Yaruquí lleva demasiado tiempo el poder transmitir la información, lo que permite sustentar la viabilidad del proyecto.

5.- ¿Conoce acerca de los enlaces de última milla que dispone el COMACO?

TABLA NO 5	NÚMERO DE ENCUESTADOS	SI	NO
TOTAL	30	26	4
PORCENTAJE	100%	86,67%	13,33%

Tab. 2.5 Tabulación pregunta 5
Fuente: Elaboración Propia

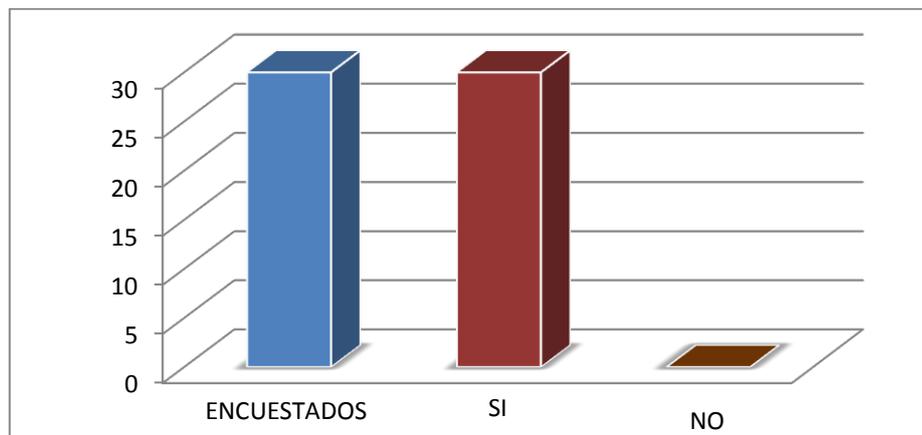


Fig. 2.5 Análisis Pregunta 5
Fuente: Elaboración Propia

Interpretación:

Un 86,67% del personal se encuentra al tanto de las tecnologías de enlace de última milla que dispone el COMACO, lo que permite evidenciar que el desarrollo del proyecto será un gran aporte para la consecución de los objetivos del CETEL.

6.- ¿Cree usted que es importante disponer de una canal mediante el cual se pueda transmitir información de carácter confidencial de manera rápida y segura?

TABLA NO 6	NÚMERO DE ENCUESTADOS	SI	NO
TOTAL	30	30	0
PORCENTAJE	100%	100,00%	0,00%

Tab. 2.6 Tabulación pregunta 6
Fuente: Elaboración Propia

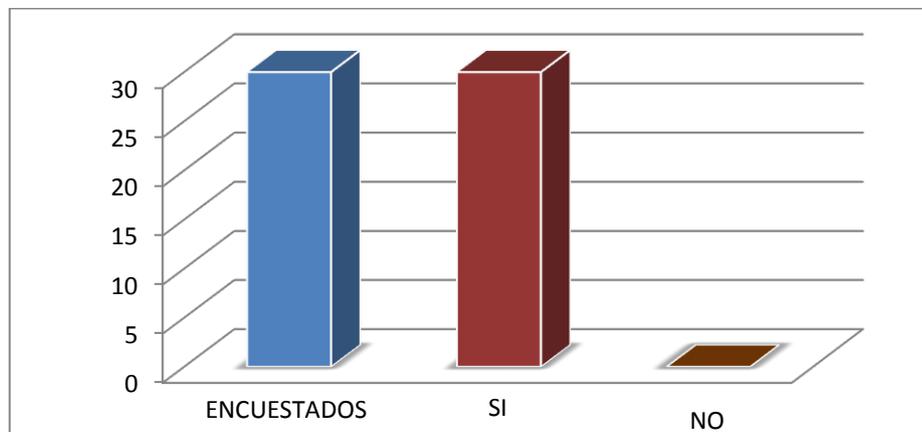


Fig. 2.6 Análisis Pregunta 6
Fuente: Elaboración Propia

Interpretación:

Según el personal encuestado en su totalidad manifiestan que la seguridad es un punto fundamental en las operaciones militares, y poder contar con la información de manera oportuna en un conflicto o una emergencia puede ayudar a salvar muchas vidas y evitar grandes daños materiales.

7.- ¿Le interesaría tener acceso directo a la Red Estratégica del COMACO en tiempo real mediante un enlace con tecnología WIMAX?

TABLA NO 1	NÚMERO DE ENCUESTADOS	SI	NO
TOTAL	30	30	0
PORCENTAJE	100%	100,00%	0,00%

Tab. 2.7 Tabulación pregunta 7
Fuente: Elaboración Propia

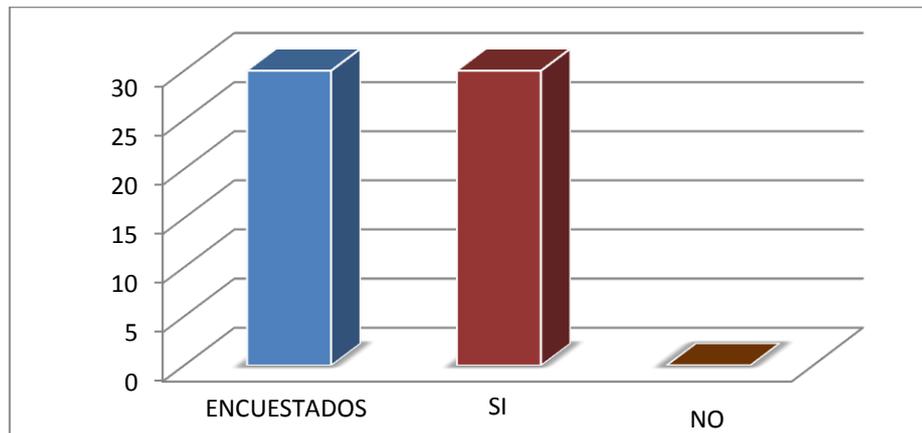


Fig. 2.7 Análisis Pregunta 7
Fuente: Elaboración Propia

Interpretación:

La totalidad del personal encuestado se manifiesta muy interesado en disponer de un medio de acceso directo, ya que esto facilitaría muchos de los procesos normales de operación ahorrando así muchos recursos tanto económicos como de talento humano al evitar la constante movilización hacia Quito para dar parte del desarrollo de las operaciones.

2.3 Análisis Integral

Al aplicar la encuesta al personal del CETEL se puede apreciar que el diseño e implementación de un radioenlace con tecnología WIMAX, será una herramienta de gran valía para la consecución de los objetivos y la mejora de los procesos que desarrolla el CETEL.

Así mismo se pudo determinar el alto grado de interés del personal al poder contar con un medio que brinde las facilidades para acceder a los servicios del COMACO y de la FAE como por ejemplo consultar sus roles de pago, realizar consultas sobre sus hojas de desempeño profesional, verificar su situación respecto de la Seguridad Social, entre otros.

CAPÍTULO III

PRESENTACIÓN DE LOS RESULTADOS

3. Propuesta del Proyecto

Diseño e Implementación de un radioenlace con tecnología WIMAX entre el Centro de Telecomunicaciones de la FAE y el Comando Conjunto de las Fuerzas Armadas.

3.1. Descripción Proyecto

Como proyecto integrador se ha realizado el diseño para establecer un radioenlace entre dos puntos de la ciudad, CETEL-COMACO, el cual permitirá realizar la transmisión de datos y VoIP, para mejorar la agilidad y operatividad de las operaciones militares.

3.2. Diagrama Pictórico

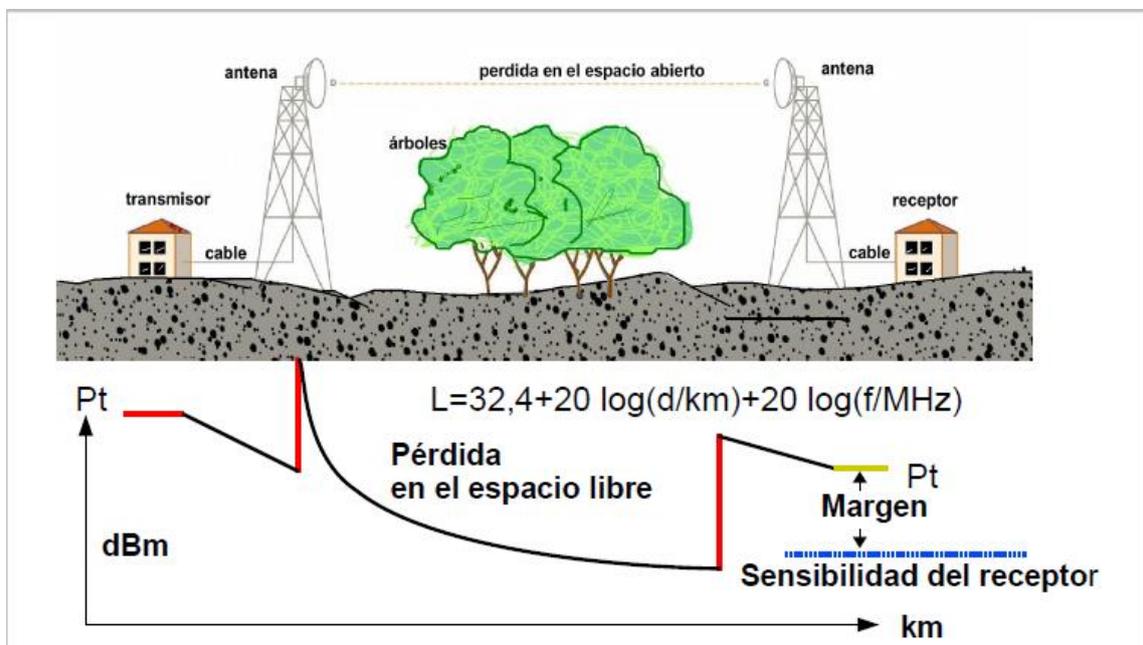


Fig. 3.1 Esquema de un Radioenlace
Elaborado por: (TRICALCAR, 2009, pág. 4)

3.3 Diagrama Esquemático

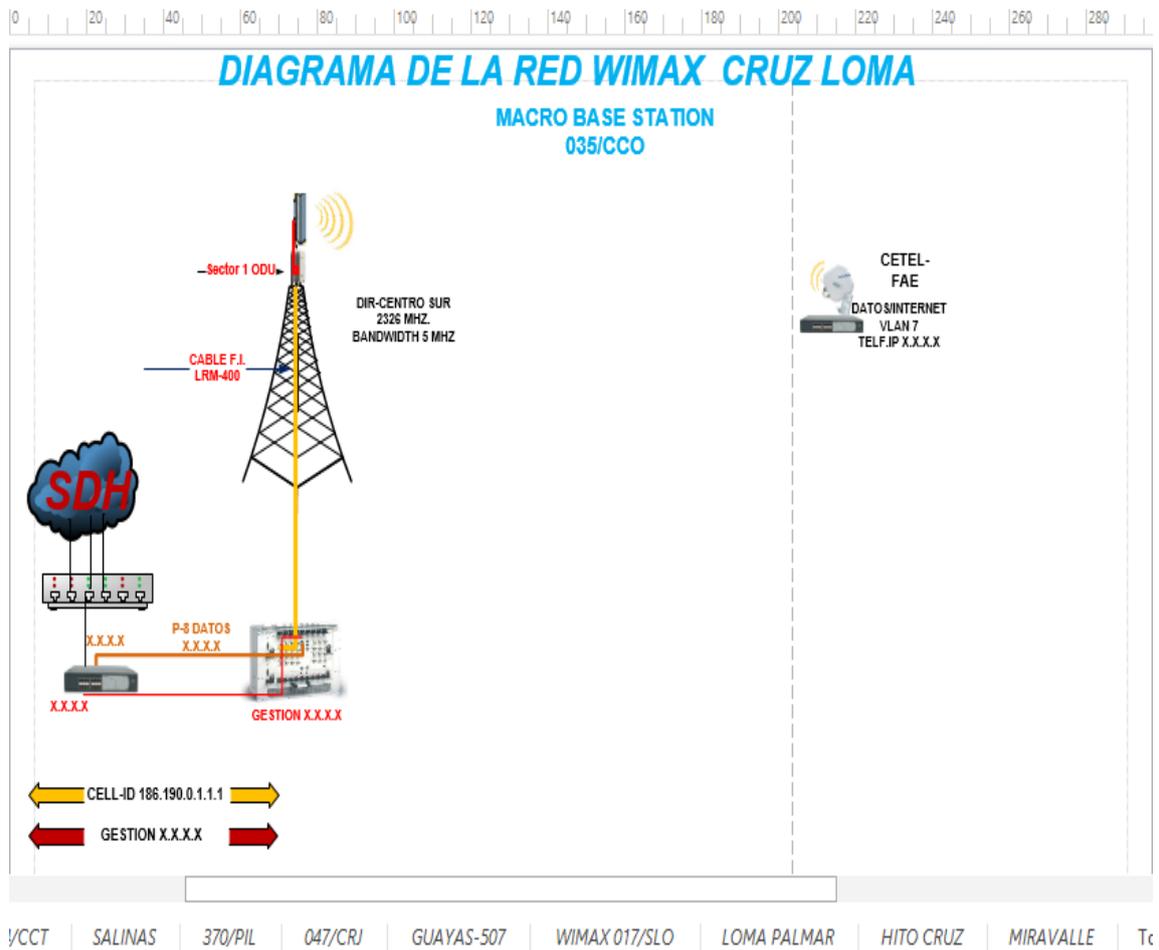


Fig. 3.2. Diagrama del radioenlace propuesto
Fuente: Elaboración propia

3.4 Cálculos Aproximados

	CRUZ LOMA	CETEL
Distancia	25400 mts	
Pot. De Tx	36 dBm	28dBm
Frecuencia de trabajo	2326 Mhz	
Ancho de Banda	5 Mhz	

Pérdidas en el Espacio Libre

$$FSL = 32.45 + 20 \log d(Km) + 20 \log f(Mhz)$$

$$FSL = 32.45 + 20 \log(25,4) + 20 \log(2326)$$

$$FSL = 127.8 \text{ dB}$$

Presupuesto de Radioenlace

DATOS	ELEMENTOS	VALORES
Distancia: 25,4 Km Frecuencia: 2326 Mhz	Salida del Tx	36 dBm
	Antena Tx	14 dBi
	FSL	-128 dB
	Antena Rx	14 dBi
	Señal Rx	-64 dB
	Sensibilidad del Rx	-89 dBm
	Margen: Señal Rx- Sensibilidad	25 dB

Tab. 3.1 Presupuesto del radioenlace
Fuente: Elaboración propia

Con este valor de margen el enlace es confiable y tiene una buena respuesta ante interferencias externas.

3.5 Simulación del Proyecto

La figura 3.3, permite apreciar si la topografía del terreno obstaculiza la línea de vista para la realización del enlace.

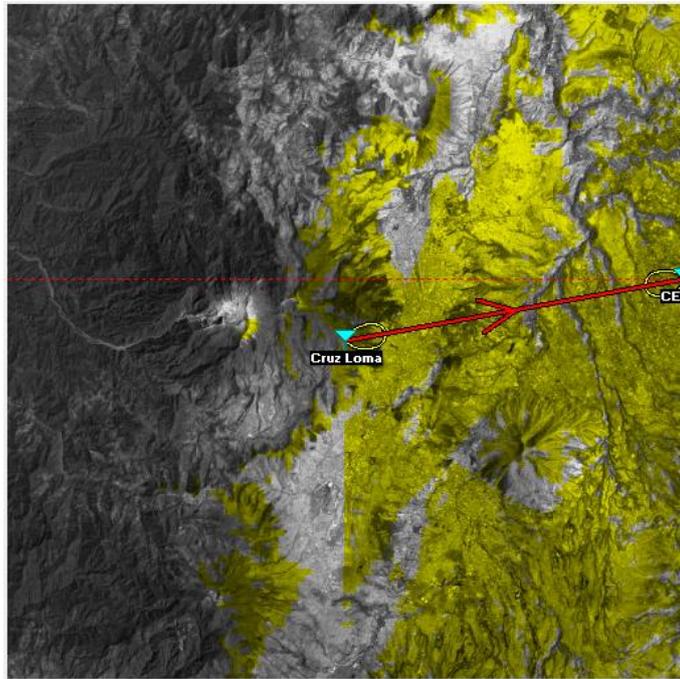


Fig. 3.3. Vista Panorámica del Enlace
Fuente: Elaboración propia

En la figura 3.4 se puede observar el perfil topográfico del enlace, así como los resultados del programa Radio Mobile para el enlace.

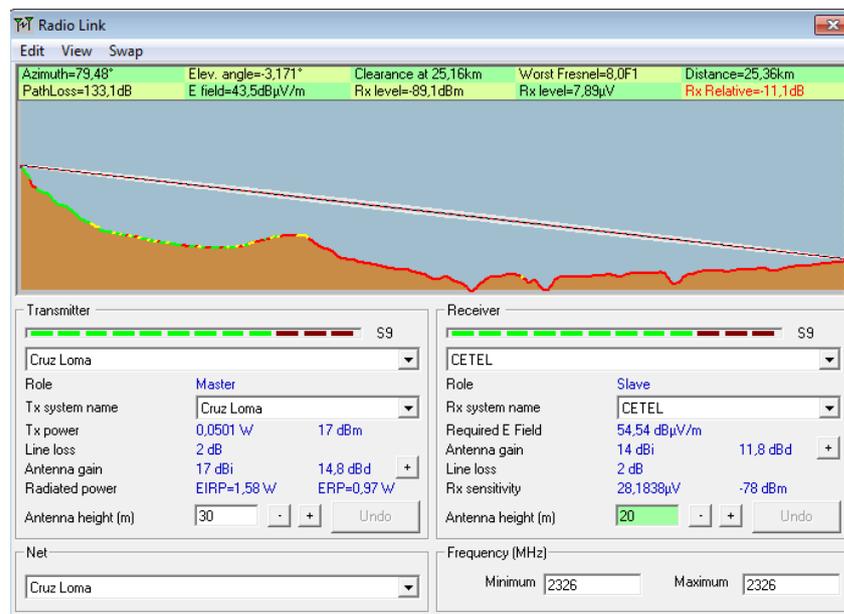


Fig. 3.4. Resultados de la simulación del radioenlace
Fuente: Elaboración propia

La figura 3.5 muestra los resultados de la aplicación Radio Mobile exportados hacia Google Earth y verificar que la Zona Fresnel se encuentre sin interferencias

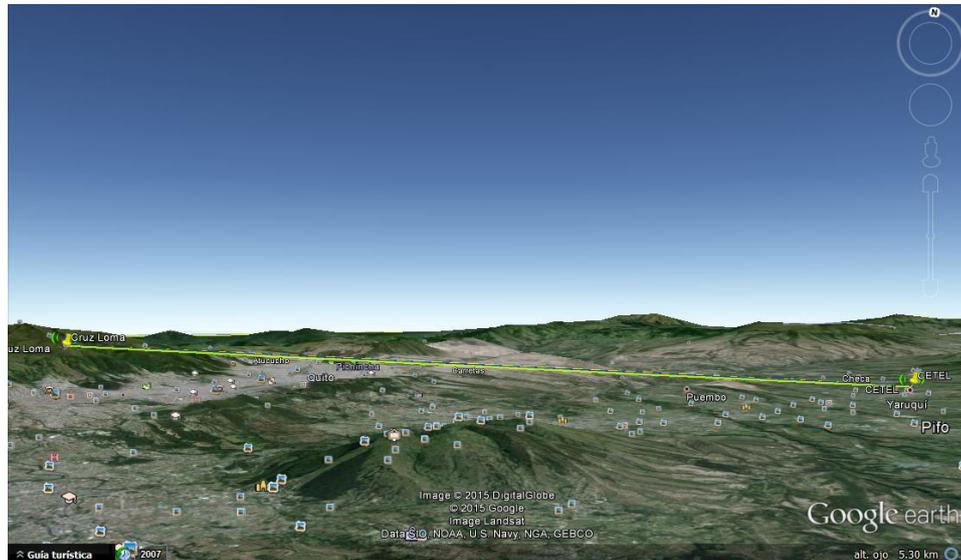


Fig. 3.5 Resultados exportados a Google Earth
Fuente: Elaboración propia

3.6 Implementación

3.6.1 Estación Cruz Loma



Figura 3.6. Cuarto de Equipos estación Cruz Loma
Fuente: Elaboración propia

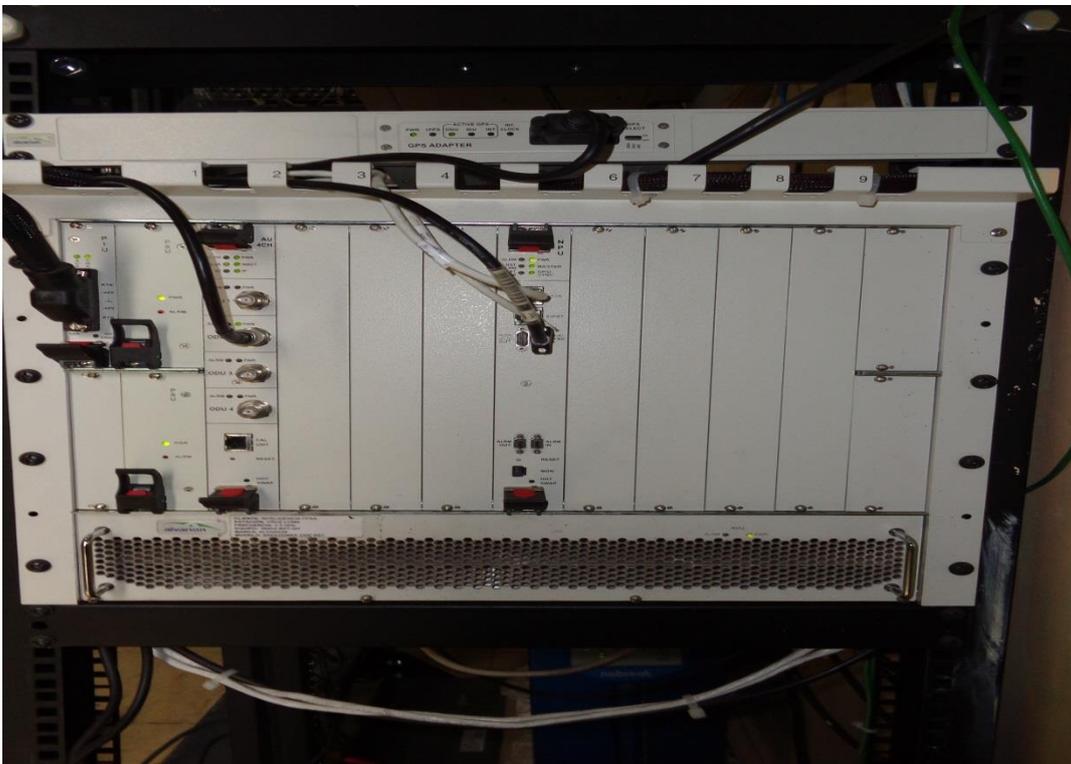


Figura 3.7. MacroStation Cruz Loma
Fuente: Elaboración propia



Figura 3.8. Antena Externa Sectorial
Fuente: Elaboración propia



Figura 3.9 Torre donde se encuentra instalada la Antena
Fuente: Elaboración propia

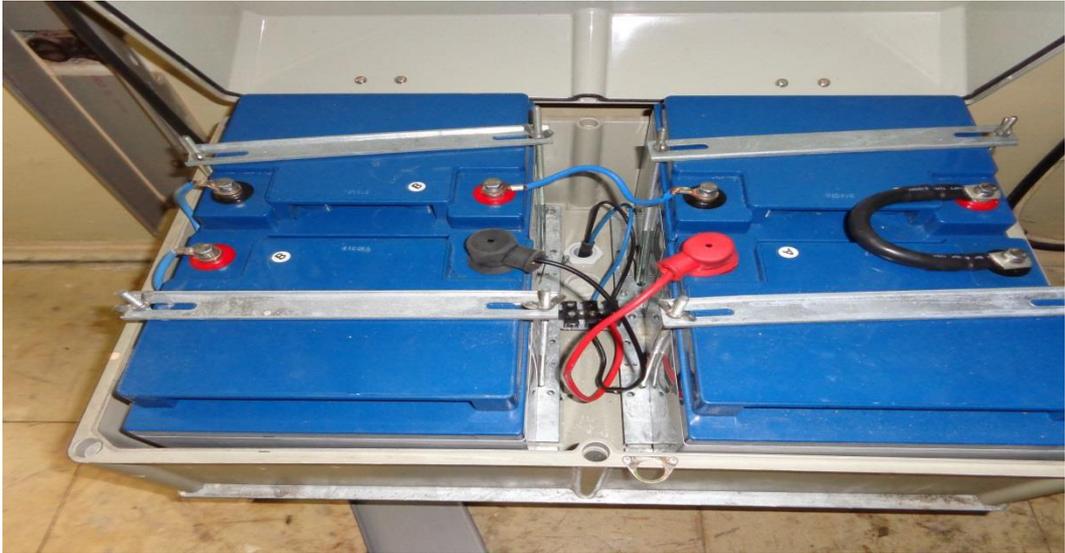


Figura 3.10. Banco de Baterías de la MacroStation
Fuente: Elaboración propia

3.6.2 Estación CETEL



Figura 3.11. Antena Externa
Fuente: Elaboración propia



Figura 3.12. Torre y cuarto de Equipos
Fuente: Elaboración propia

3.6.3 Configuración en la Consola Central

En la figura se muestra la administración web de las Macro Station que se tienen instaladas en el COMACO.

Name	Type	Running SW Ver	IP Address	State	Serial Number	Switching Mode
MIRAVALLE	BreezeMAX MBS	4.2.1.19	10.96.254.78	Up	900006.75BCD15	Ethernet CS
CERRO 507	BreezeMAX BS	4.5.2.36	10.68.23.249	Up	60038138	Ethernet CS
CRUZ LOMA	BreezeMAX BS	4.5.2.36	10.68.21.249	Up	7677564	Ethernet CS
HITO CRUZ	BreezeMAX MBS	4.5.2.8	10.98.1.206	Up	60040310.75BCD15	Ethernet CS
SALINAS	BreezeMAX MBS	4.5.2.8	10.97.254.70	Unreachable	60025358.75BCD15	Ethernet CS
ZAPALLO	BreezeMAX MBS	4.5.2.8	10.96.7.252	Up	7259892.75BCD15	Ethernet CS
LOMA PALMAR	BreezeMAX MBS	4.5.2.8	10.98.254.37	Up	60039511.75BCD15	Ethernet CS
JABONCILLO	BreezeMAX MBS	4.5.2.8	10.97.0.50	Up	7589880.75BCD15	Ethernet CS
COTACACHI	BreezeMAX MBS	4.5.2.8	10.96.254.51	Up	7802644.75BCD15	Ethernet CS
PILISURCO	BreezeMAX MBS	4.5.2.8	10.101.27.35	Up	7259926.75BCD15	Ethernet CS

Figura 3.13. Ventana principal de la consola de gestión
Fuente: Elaboración propia

La figura 3.14 muestra los componentes de la Macro Station y verifica su operabilidad

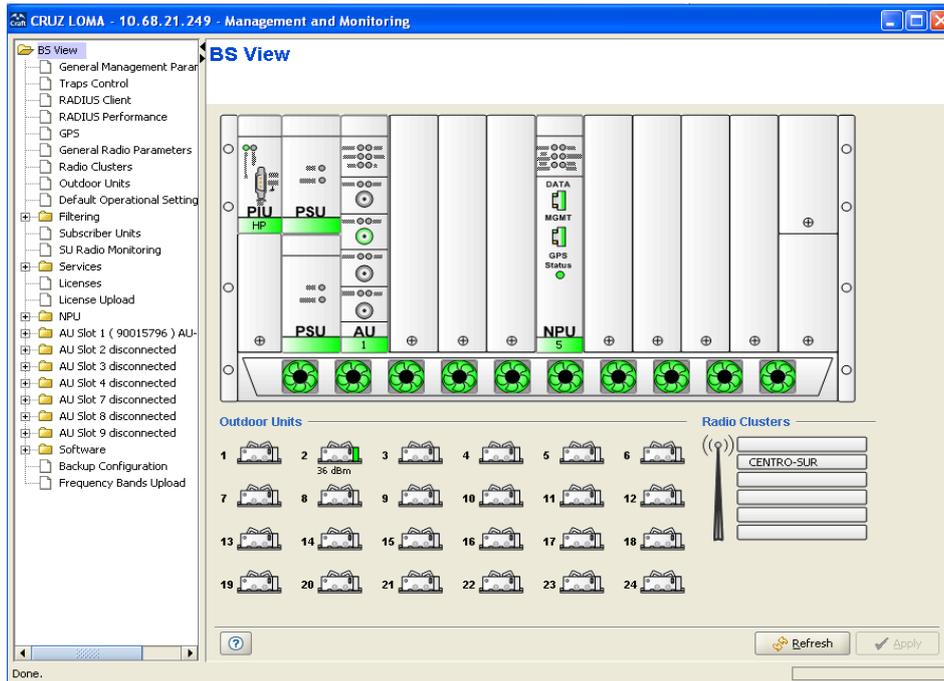


Figura 3.14. Vista de la Macro Station y sus componentes
Fuente: Elaboración propia

En la figura se observan los suscriptores que desuelgan de la Macro Station de Cruz Loma y en el menú de la izquierda se puede configurar varias opciones de acuerdo al requerimiento establecido

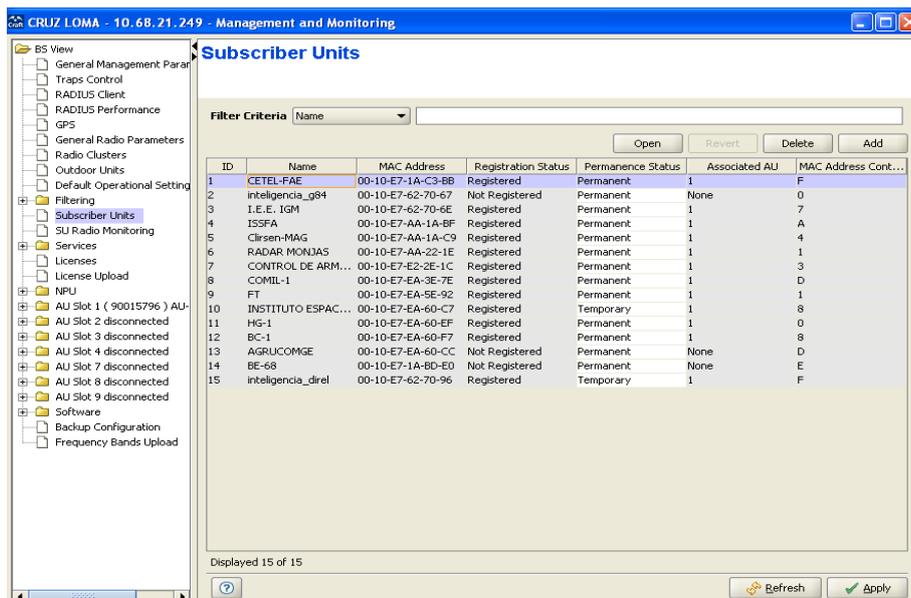


Figura 3.15. Vista los suscriptores enlazados a la Macro Station
Fuente: Elaboración propia

En siguiente figura se muestra la configuración del nombre del terminal, la vlan o vlans con las que va a trabajar y se habilita el servicio.

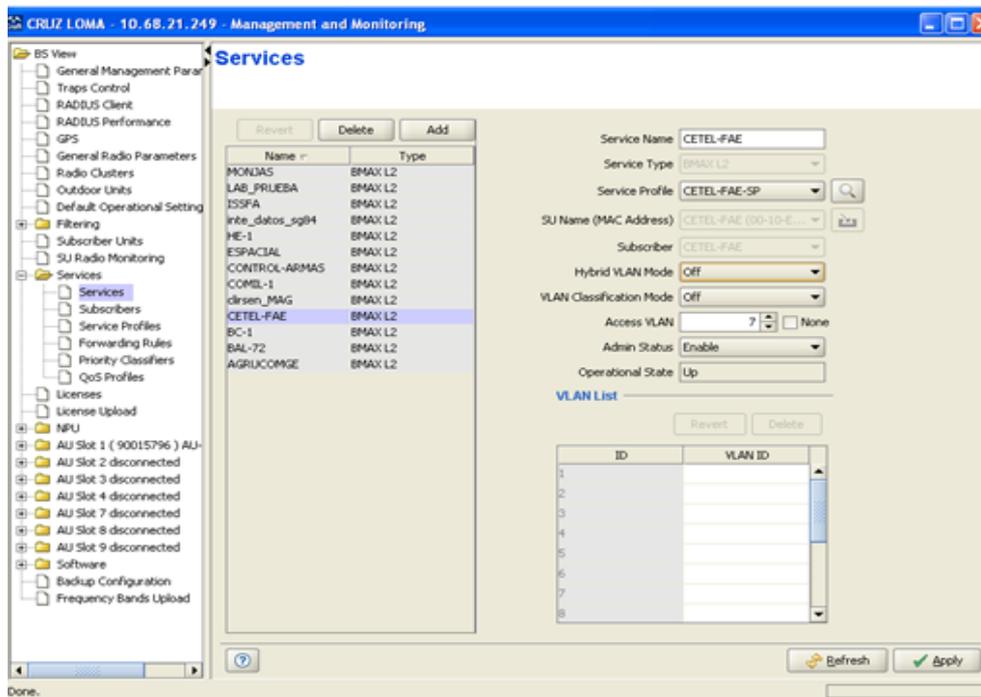


Figura 3.16. Asignación de servicio a brindar (vlan de trabajo)
 Fuente: Elaboración propia

En esta figura se muestra la configuración de la tasa de transferencia así como el tipo de QoS que brinda.

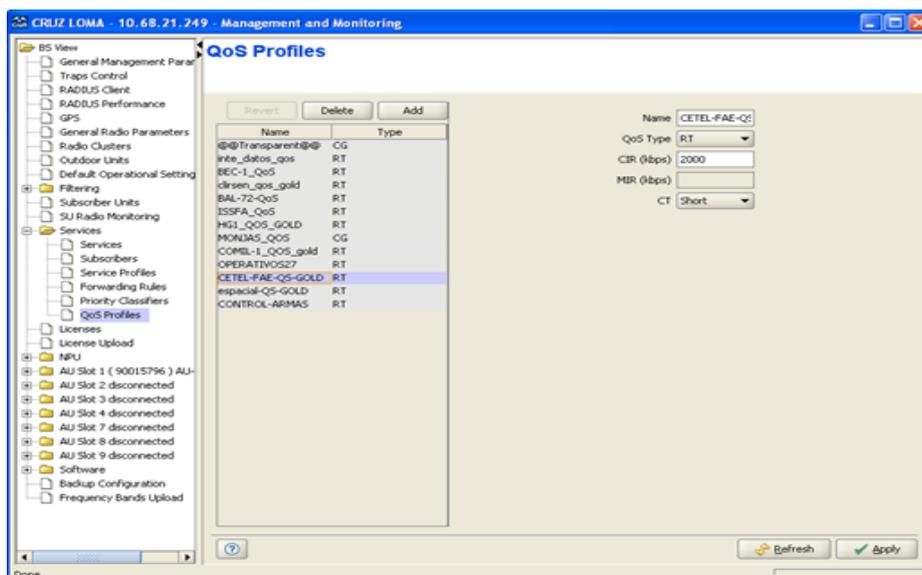


Figura 3.17. Asignación de la tasa de transmisión constante CIR y tipo de QoS
 Fuente: Elaboración propia

En la siguiente figura se muestra el resumen de configuración así como los valores de recepción y transmisión de la Macro Station.

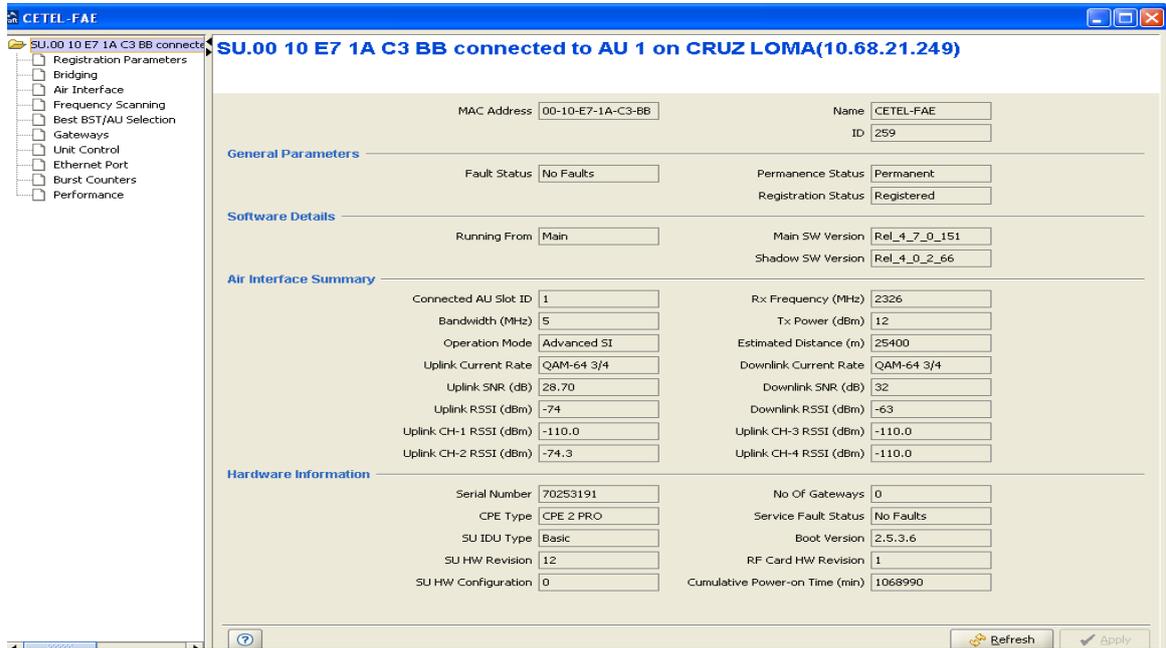


Figura 3.18. Resumen de configuración del suscriptor CETEL
Fuente: Elaboración propia

3.6.4 Configuración Suscriptor CETEL

La figura muestra un resumen del estado del CPE

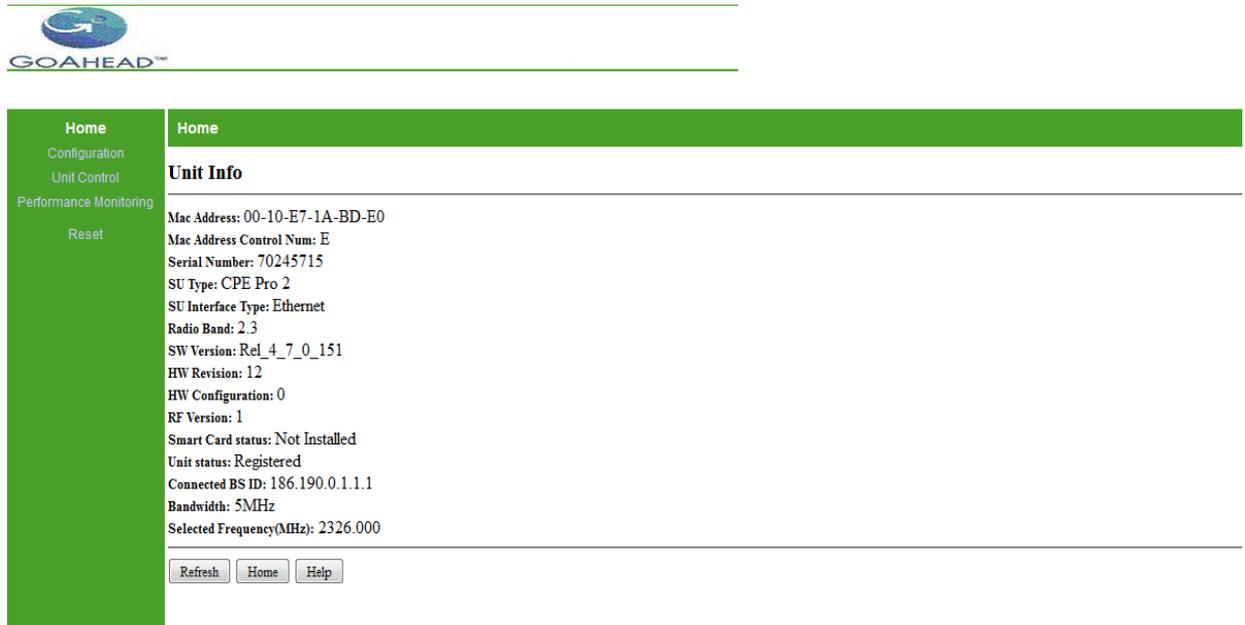


Figura 3.19. Resumen de configuración del suscriptor CETEL
Fuente: Elaboración propia

En la figura se muestra la configuración del nombre del terminal y el password de administración.

Figura 3.20. Configuración de nombre de usuario y password
Fuente: Elaboración propia

En la siguiente figura se muestra la configuración del ID del terminal el mismo que le permite identificarse dentro de la red WIMAX.

Figura 3.21. Configuración de ID de identificación en la red
Fuente: Elaboración propia

En la figura se muestra la configuración del ancho de banda con el que va a trabajar el terminal.

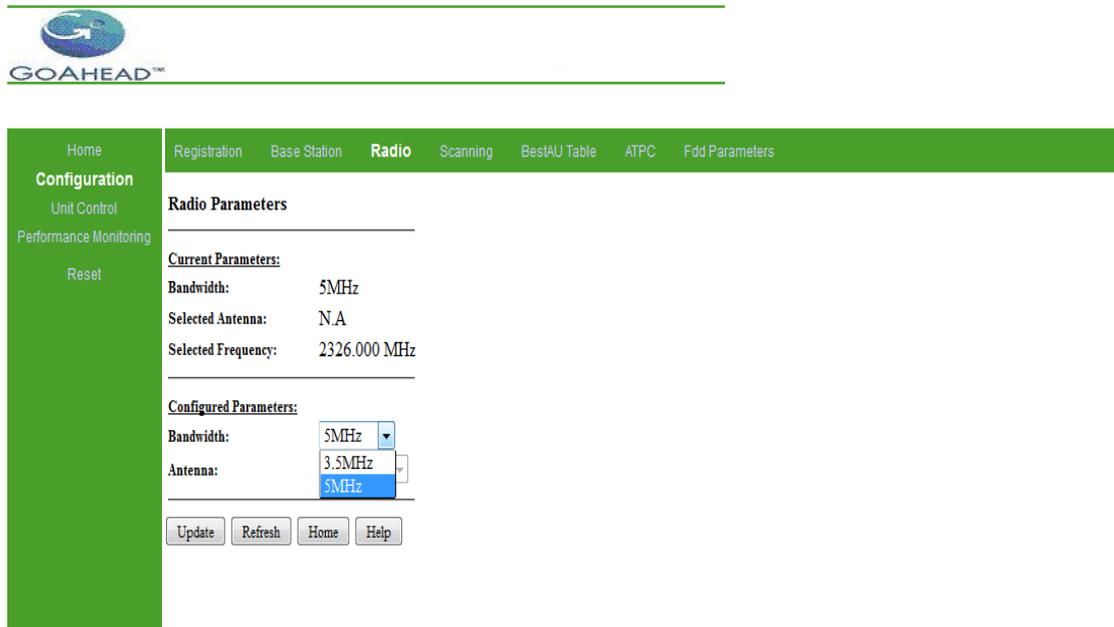


Figura 3.22. Configuración de ancho de banda
Fuente: Elaboración propia

En la siguiente figura se muestra la configuración de las frecuencias de trabajo.

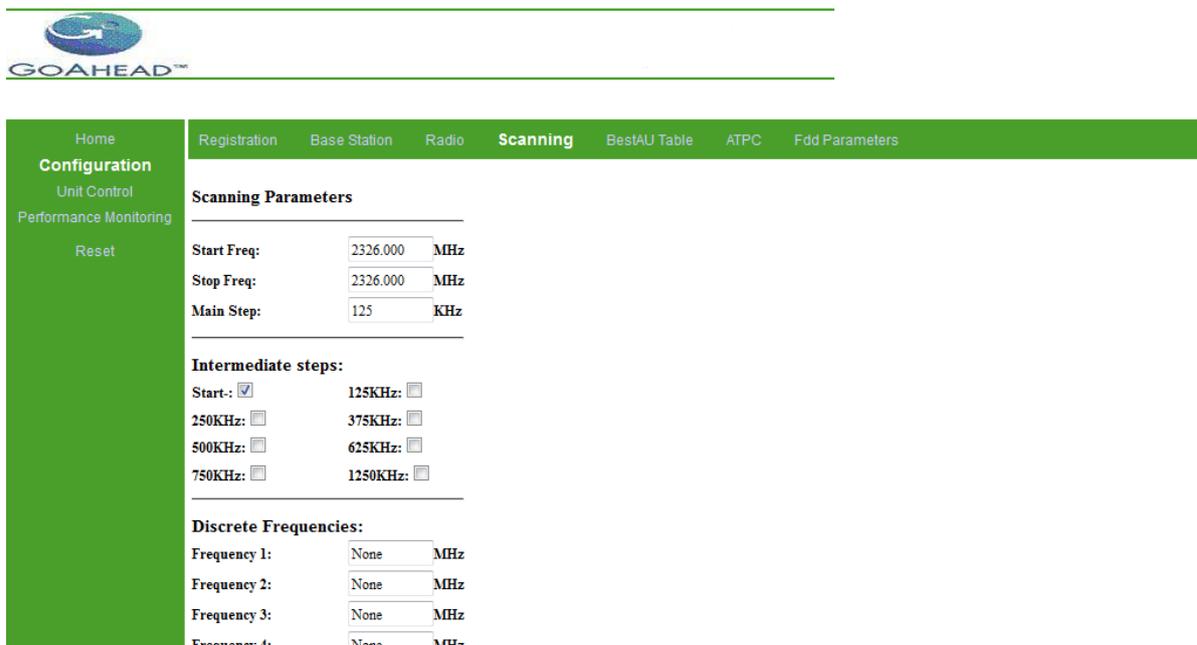


Figura 3.23. Configuración de frecuencia de trabajo
Fuente: Elaboración propia

En esta figura se puede visualizar un resumen de la configuración al ingresar por consola al equipo.

```

Telnet 10.68.21.249
BreezeMAX/NPU 10.68.21.249
SW Version 4.5.2.36
SU - CETEL-FAE
=====
1 - Show
2 - Unit Control
3 - Configuration
4 - Performance Monitoring
5 - Show MAC Addresses Behind SU
6 - Delete
>1
MAC Address : 00-10-e7-1a-c3-bb
MAC Address Control Number : 1
User Name : CETEL-FAE
SU Type : CPE PRO 2
Operation mode : Advance Si
Organization Name : COMACO
Address : CAE QUITO
Country : 593
SU Status : Permanent
Connected AU Slot ID : 1
SU ID : 259
SU IDU Type : Normal
Number of Gateways : 0
Service Fault Status : OK

Configured SW File Name :
Configured SW Version : Unknown
Configured Action : None

Uplink Combined RSSI <dBm> : -72.90
Uplink SNR <dB> : 27.10
Uplink Current Rate : QAM64 3/4
Uplink CH1 RSSI <dBm> : -110
Uplink CH2 RSSI <dBm> : -74
Uplink CH3 RSSI <dBm> : -110
Uplink CH4 RSSI <dBm> : -110

Downlink RSSI <dBm> : -63
Downlink SNR <dB> : 32
Downlink Current Rate : QAM64 3/4

ATPC Support : Enable
TX Power <dBm> : 17

>
Serial Number : 70253191
RF Card HW Revision : 1
Boot Version : 2.5.3.6
Cumulative Power On Time : 17816 hours 0 minutes
Main Card HW Revision : 12
Main Card HW Configuration : 0
  
```

Figura 3.24. Resumen de configuración del suscriptor CETEL ingreso por consola
Fuente: Elaboración propia

3.7 Pruebas de Funcionamiento

En la figura se muestran los niveles de recepción con los que trabaja actualmente el terminal.

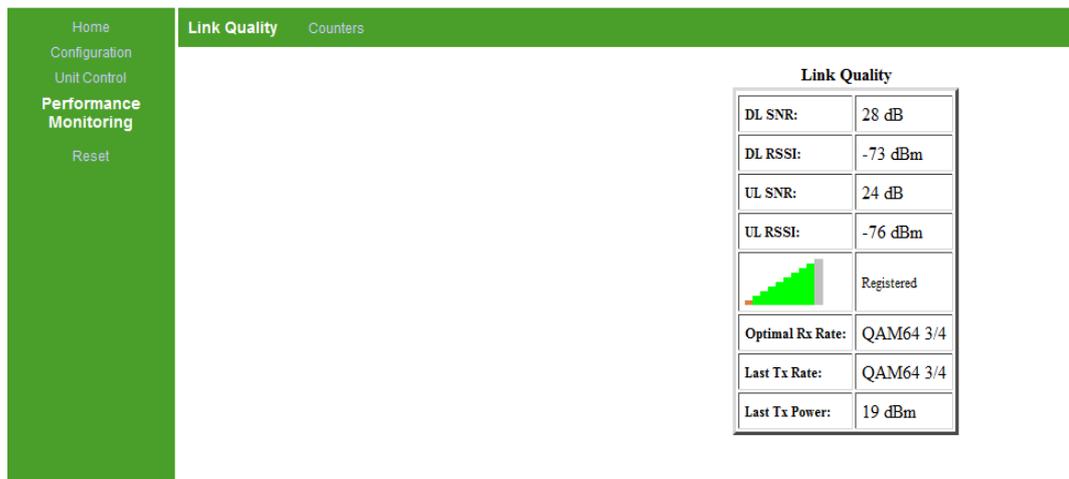
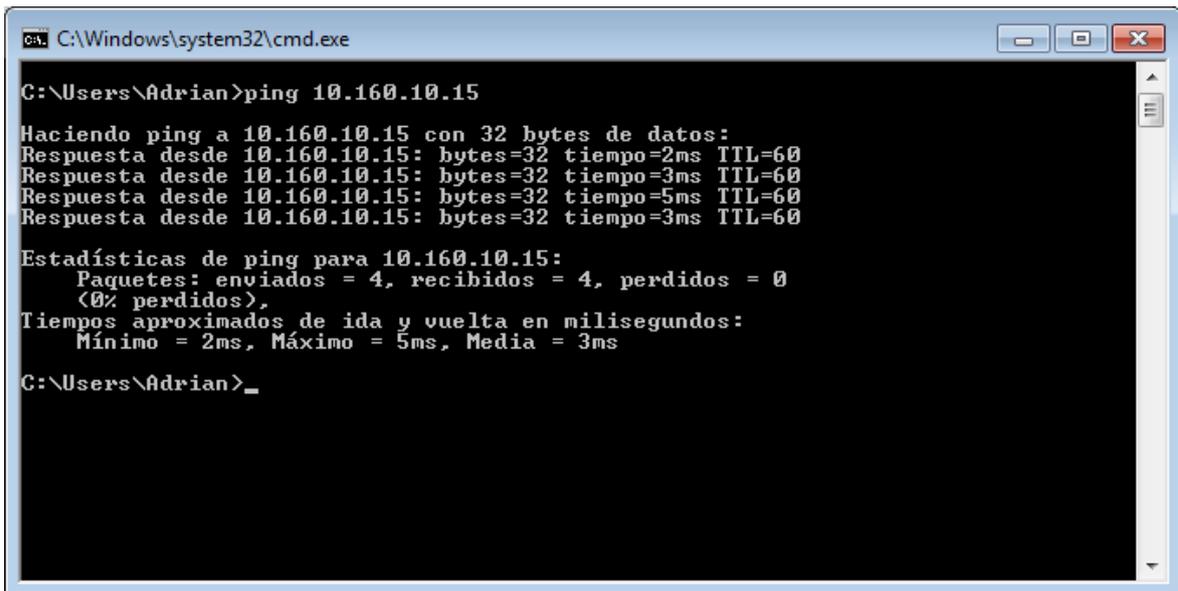


Figura 3.25. Niveles de recepción
Fuente: Elaboración propia

Pruebas de conectividad hacia los servidores de la FAE



```
C:\Windows\system32\cmd.exe

C:\Users\Adrian>ping 10.160.10.15

Haciendo ping a 10.160.10.15 con 32 bytes de datos:
Respuesta desde 10.160.10.15: bytes=32 tiempo=2ms TTL=60
Respuesta desde 10.160.10.15: bytes=32 tiempo=3ms TTL=60
Respuesta desde 10.160.10.15: bytes=32 tiempo=5ms TTL=60
Respuesta desde 10.160.10.15: bytes=32 tiempo=3ms TTL=60

Estadísticas de ping para 10.160.10.15:
    Paquetes: enviados = 4, recibidos = 4, perdidos = 0
              (0% perdidos),
    Tiempos aproximados de ida y vuelta en milisegundos:
        Mínimo = 2ms, Máximo = 5ms, Media = 3ms

C:\Users\Adrian>
```

Figura 3.26. Prueba de conectividad con un servidor de la FAE
Fuente: Elaboración propia

Acceso a los aplicativos que dispone la FAE



Figura 3.27. Prueba de acceso a los servicios web de la FAE
Fuente: Elaboración propia

Conclusiones

- De acuerdo a lo investigado el sistema implementado es compatible con la infraestructura actual de la red del COMACO, lo que permitió una migración manteniendo la disponibilidad de los enlaces y la integridad de las comunicaciones; sin que se interrumpiera la comunicación en este proceso.
- El sistema Multiacceso que dispone el CETEL impedía la integración con la Red de Datos tanto del COMACO como de la FAE, por lo que la implementación del sistema de comunicación WIMAX ayudó a facilitar de acceso a la Red Estratégica de Telecomunicaciones de FF.AA de una manera rápida y segura.
- El margen de recepción de la señal comparado con los niveles de sensibilidad de los equipos, permitieron observar que existen las condiciones adecuadas para la implementación del enlace.
- Bajo condiciones ideales de funcionamiento y con la ayuda del programa Radio Mobile se pudo confirmar que los resultados obtenidos en el análisis matemático permiten la implementación del enlace.
- En el sistema de comunicación implementado el monitoreo y control del sistema se lo puede realizar mediante una consola de administración, el cual permite acceder rápidamente a la estación en caso de fallos, o para habilitar o deshabilitar servicios de acuerdo a los requerimientos.
- Aprovechando la ventaja de modulación adaptativa que dispone el equipo, los niveles de recepción de señal son óptimos para permitir la transmisión tanto de voz como de datos entre el CETEL y las unidades del COMACO.

Recomendaciones

- Profundizar en los conceptos de comunicación utilizando tecnologías de redes inalámbricas de banda ancha, BWA (Broadband Wireless Access), de manera que permitan utilizar o mejorar los sistemas de comunicación actuales como por ejemplo LTE.
- Continuar investigando sobre la posibilidad de mejorar los niveles de recepción en la comunicación, sea con la misma tecnología o migrando hacia otras opciones como por ejemplo un enlace de radio IP, ya que debido a su ubicación geográfica la zona está propensa a incrementar su población por la ubicación del nuevo aeropuerto.
- Comparar los datos técnicos de los equipos con los resultados del análisis para sacar el máximo provecho de los equipos al momento de su instalación.
- Consultar sobre upgrades o nuevos programas de simulación que ayuden a obtener resultados más cercanos a la realidad, para así facilitar en gran manera la implementación de nuevos enlaces.
- Gestionar y administrar permanentemente los enlaces para evitar daños que puedan afectar seriamente el funcionamiento del sistema.
- Para un aprovechamiento eficaz del ancho de banda que ofrece WIMAX, es necesario utilizar las diferentes aplicaciones de datos que ofrece y no solo para transmitir voz, puesto que la red es capaz de soportar transmisiones de datos a altas velocidades.

Bibliografía

ANDREWS, J. (2007). *Fundamentals of WiMAX understanding Broadband Wireless Networking*. United States: Prentice Hall.

CISCO. (2011). *CCNA Exploration 4.0 Aspectos básicos de Networking*. Estados Unidos: Cisco.

Dirección General de Protección Civil y Emergencias. (2004). Obtenido de http://2.bp.blogspot.com/_ry650QSj8_k/TL-tu-vlprl/AAAAAAAAAHc/fuKjpmBKgE/s320/bandas+de+frecuencias.jpg

ELECTRÓNICA FÁCIL. (2011). Obtenido de http://electronicafacil-lord.blogspot.com/2011_12_01_archive.html

ELSERVIER Ingeniería, Investigación y Tecnología. (2014). Obtenido de <http://www.elsevier.es/es-revista-ingenieria-investigacion-tecnologia-104-articulo-rendimiento-un-sistema-control-errores-90371129>

ESCALONA, A. (2004). *Fundamentos de los Sistemas de Comunicaciones*. España: McGraw-Hill.

LOZANO, F. (2008). *Zona Fresnel*. Obtenido de http://es.wikipedia.org/wiki/Zona_de_Fresnel

PALACIOS, M. (2007). *Guía de Proyectos I*. Quito.

PATHLOSS. (s.f.). Obtenido de <http://www.pathloss.com/index.php#!p4prod>

Redline communications. (2010). *RedMAX Macro Base Stations User Manual*. United States: Redline communications.

REMER Red Radio de Emergencia. (2005). *Manual de Cálculo de Coberturas con Radio Mobile*. Obtenido de http://www.ipellejero.es/radiomobile/RM_01.php

SENATEL. (2005). *Bandas de Frecuencias Broadband*. Quito.

TAMAX Wireless and It blog. (2008). *Cálculo de la Zona de Fresnel*. Obtenido de <http://tamax.com.ar/blog/?p=517>

TOMASI, W. (2003). *Sistemas de Comunicaciones Electrónicas*. México: Prentice Hall.

TRICALCAR. (2009). *Calculo de Radioenlace, Unidad 06*. Obtenido de <http://es.scribd.com/doc/12785791/Calculo-y-Dimensionamiento-de-Radioenlaces>

Wikipedia. (2005). Obtenido de http://es.wikipedia.org/wiki/Zona_de_Fresnel

Wikipedia. (2014). *Zona de Fresnel*. Obtenido de http://es.wikipedia.org/wiki/Zona_de_Fresnel

WordPress. (2010). Obtenido de <https://2010301400isaacmerida.wordpress.com/2012/02/12/bandas-de-frecuencia/>

XIRIO Online. (s.f.). *Simulación Profesional de Cobertura Radioeléctrica Online*. Obtenido de <http://www.xirio-online.com/>

ANEXOS

Anexo 1 Certificado de la Empresa



COMANDO CONJUNTO DE FF.AA.



Quito, 26 de febrero de 2015

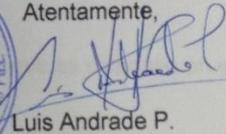
SRS.
UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA ISRAEL
PRESENTE

De mi consideración:

Por medio del presente comunico que el señor Héctor Adrián Zambrano Zambrano, con CC 1716974298 ha realizado su PROYECTO INTEGRADOR DE CARRERA **"DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN ENLACE DE COMUNICACIONES CON TECNOLOGÍA WIMAX ENTRE EL COMANDO CONJUNTO DE LAS FF.AA. Y EL CENTRO DE TELECOMUNICACIONES DE LA FAE (CETEL)";** para lo cual se le proporcionó toda la información y ayuda necesaria para el desarrollo del mencionado proyecto.



Atentamente,


Luis Andrade P.
Mayo. Eléc.

JEFE DEL DEPARTAMENTO DE TELECOMUNICACIONES

Anexo 2 Entrevista al personal del CETEL



"Responsabilidad con pensamiento positivo"

"UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA ISRAEL"

FACULTAD CIENCIAS DE LA INGENIERÍA

ESCUELA DE ELECTRÓNICA DIGITAL Y TELECOMUNICACIONES

Compañeros de antemano les hago llegar un cordial saludo y solicito su colaboración en el desarrollo de la siguiente encuesta.

Objetivo: Determinar si es necesaria la migración a un enlace WIMAX para acceder a los servicios de la Red de Datos del COMACO.

Responda las siguientes preguntas

Marque con una X la respuesta de su elección

1.- ¿Conoce que tipo de enlace se dispone al momento en el CETEL?

SI	X
NO	

2.- ¿Ha utilizado los servicios que se disponen en el COMACO o la FAE?

SI	X
NO	

3.- ¿Actualmente disponen de acceso a los servicios de la Red de Datos del COMACO?

SI	
NO	X

4.- ¿Cree usted que el enlace actual que dispone el CETEL dificulta el desenvolvimiento normal de los procesos tanto Administrativos como Operativos?

SI	X
NO	

5.- ¿Conoce acerca de los enlaces de última milla que dispone el COMACO?

SI	
NO	X

6.- ¿Cree usted que es importante disponer de una canal mediante el cual se pueda transmitir información de carácter confidencial de manera rápida y segura?

SI	X
NO	

7.- ¿Le interesaría tener acceso directo a la Red Estratégica del COMACO en tiempo real mediante un enlace con tecnología WIMAX?

SI	X
NO	

Fecha: 20-DIC-011

*******Gracias por su colaboración compañeros*******



"Responsabilidad con pensamiento positivo"

"UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA ISRAEL"

FACULTAD CIENCIAS DE LA INGENIERÍA

ESCUELA DE ELECTRÓNICA DIGITAL Y TELECOMUNICACIONES

Compañeros de antemano les hago llegar un cordial saludo y solicito su colaboración en el desarrollo de la siguiente encuesta.

Objetivo: Determinar si es necesaria la migración a un enlace WIMAX para acceder a los servicios de la Red de Datos del COMACO.

Responda las siguientes preguntas

Marque con una X la respuesta de su elección

1.- ¿Conoce que tipo de enlace se dispone al momento en el CETEL?

SI	<input checked="" type="checkbox"/>
NO	<input type="checkbox"/>

2.- ¿Ha utilizado los servicios que se disponen en el COMACO o la FAE?

SI	<input checked="" type="checkbox"/>
NO	<input type="checkbox"/>

3.- ¿Actualmente disponen de acceso a los servicios de la Red de Datos del COMACO?

SI	<input type="checkbox"/>
NO	<input checked="" type="checkbox"/>

4.- ¿Cree usted que el enlace actual que dispone el CETEL dificulta el desenvolvimiento normal de los procesos tanto Administrativos como Operativos?

SI	<input checked="" type="checkbox"/>
NO	<input type="checkbox"/>

5.- ¿Conoce acerca de los enlaces de última milla que dispone el COMACO?

SI	<input checked="" type="checkbox"/>
NO	<input type="checkbox"/>

6.- ¿Cree usted que es importante disponer de una canal mediante el cual se pueda transmitir información de carácter confidencial de manera rápida y segura?

SI	<input checked="" type="checkbox"/>
NO	<input type="checkbox"/>

7.- ¿Le interesaría tener acceso directo a la Red Estratégica del COMACO en tiempo real mediante un enlace con tecnología WIMAX?

SI	<input checked="" type="checkbox"/>
NO	<input type="checkbox"/>

Fecha: 20-DIC-2014

*****Gracias por su colaboración compañeros*****



"Responsabilidad con pensamiento positivo"

"UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA ISRAEL"

FACULTAD CIENCIAS DE LA INGENIERÍA

ESCUELA DE ELECTRÓNICA DIGITAL Y TELECOMUNICACIONES

Compañeros de antemano les hago llegar un cordial saludo y solicito su colaboración en el desarrollo de la siguiente encuesta.

Objetivo: Determinar si es necesaria la migración a un enlace WIMAX para acceder a los servicios de la Red de Datos del COMACO.

Responda las siguientes preguntas

Marque con una X la respuesta de su elección

1.- ¿Conoce que tipo de enlace se dispone al momento en el CETEL?

SI	<input type="checkbox"/>
NO	<input checked="" type="checkbox"/>

2.- ¿Ha utilizado los servicios que se disponen en el COMACO o la FAE?

SI	<input checked="" type="checkbox"/>
NO	<input type="checkbox"/>

3.- ¿Actualmente disponen de acceso a los servicios de la Red de Datos del COMACO?

SI	<input type="checkbox"/>
NO	<input checked="" type="checkbox"/>

4.- ¿Cree usted que el enlace actual que dispone el CETEL dificulta el desenvolvimiento normal de los procesos tanto Administrativos como Operativos?

SI	<input checked="" type="checkbox"/>
NO	<input type="checkbox"/>

5.- ¿Conoce acerca de los enlaces de última milla que dispone el COMAGO?

SI	<input type="checkbox"/>
NO	<input checked="" type="checkbox"/>

6.- ¿Cree usted que es importante disponer de una canal mediante el cual se pueda transmitir información de carácter confidencial de manera rápida y segura?

SI	<input checked="" type="checkbox"/>
NO	<input type="checkbox"/>

7.- ¿Le interesaría tener acceso directo a la Red Estratégica del COMACO en tiempo real mediante un enlace con tecnología WIMAX?

SI	<input checked="" type="checkbox"/>
NO	<input type="checkbox"/>

Fecha: 20-DIC-2014

*****Gracias por su colaboración compañeros*****

Anexo 3 Datasheet Macro Station y CPE

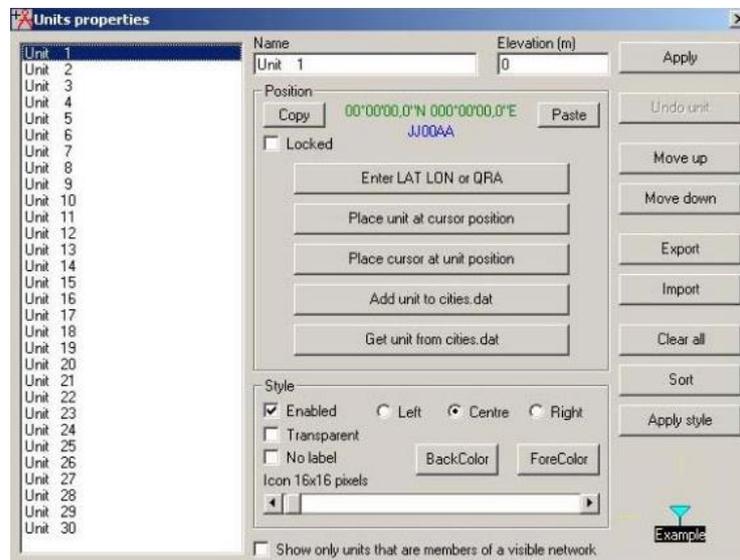
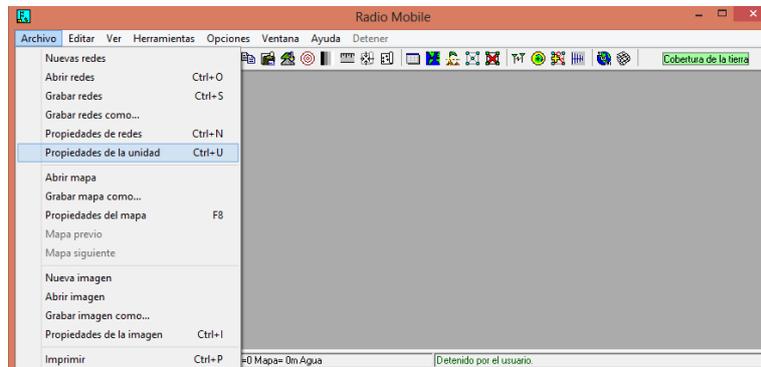
Item	Description			
Frequency	Unit/Band		Frequency (MHz)	
	AU-ODU-HP-2.3		2300 - 2360	
	AU-ODU-HP-2.3-WCS		2305 - 2317, 2348 - 2360 (includes WCS filter)	
	AU-ODU-HP-2.5A		2496 - 2602	
	AU-ODU-HP-2.5B		2590 - 2690	
	AU-ODU-HP-TDD-3.3a		3300-3355	
	AU-ODU-HP-TDD-3.3b		3345-3400	
	AU-ODU-HP-TDD-3.4a		3399.5 - 3455	
	AU-ODU-HP-TDD-3.4b		3445 - 3500	
	AU-ODU-HP-TDD-3.5a		3500 - 3555	
	AU-ODU-HP-TDD-3.5b		3545 - 3600	
	AU-ODU-TDD-3.6b		3650 - 3700	
Operation Mode	TDD			
Channel Bandwidth	<input checked="" type="checkbox"/> 3.5 MHz <input checked="" type="checkbox"/> 5 MHz			
Central Frequency Resolution	0.125 MHz (actual configurable frequencies depend on the local radio regulations and allocated spectrum)			
Antenna Port (AU-ODU)	N-Type, 50 Ohm			
Max. Input Power (at AU-ODU antenna port)	-60 dBm before saturation, -8 dBm before damage			
Output Power (at AU-ODU antenna port)	2.x GHz:	36 dBm +/-1 dB maximum Power control range: 6 dB, in 1 dB steps		
	3.3 GHz	3.3a: 32 dBm +/-1 dB maximum 3.3b: 33 dBm +/-1 dB maximum Power control range: 10 dB, in 1 dB steps		
	3.5 GHz	34 dBm +/-1 dB maximum Power control range: 10 dB, in 1 dB steps		
	3.6 GHz	22 dBm +/-1 dB maximum Power control range: 10 dB, in 1 dB steps		
Modulation	OFDM in the Downlink, OFDMA-16 in the Uplink (N x SUs per Symbol, N=1-16), BPSK, QPSK, QAM16, QAM64			
FEC	Convolutional Coding: 1/2, 2/3, 3/4			
Typical Sensitivity (BER=1E-6)	Modulation & Coding	Minimum SNR (dB)	Sensitivity (dBm) @ 3.5 MHz BW	Sensitivity (dBm) @ 5 MHz BW
	BPSK 1/2	2.5	-98.5	-97
	QPSK 1/2	5.9	-94.5	-93
	QPSK 3/4	8.6	-91.5	-90
	QAM16 1/2	11.4	-87.5	-86
	QAM16 3/4	14.8	-84.5	-83
	QAM64 2/3	20	-80.5	-79
	QAM64 3/4	20.9	-78.5	-77

Item	Description			
Frequency	Band	TDD Frequencies (MHz)	FDD Frequencies (MHz)	
	2.3 GHz	2300-2360	Not Applicable	
	2.5 GHz g	2496-2690	Not Applicable	
	3.5 GHz	3399.5-3600	Uplink: 3399.5-3500 Downlink: 3499.5-3600	
Operation Mode	<ul style="list-style-type: none"> ■ TDD, Half Duplex ■ FDD, Half duplex (3.5 GHz band only) 			
Channel Bandwidth	<ul style="list-style-type: none"> ■ 1.75 MHz (only in FDD mode in the 3.5 GHz band) ■ 3.5 MHz ■ 5 MHz (only in TDD mode) 			
Central Frequency Resolution	0.125 MHz			
Antenna Port (PRO-SE CPEs)	N-Type, 50 Ohm			
2.3 GHz Integral Antenna (PRO-SA CPE)	13 dBi typical, 33°AZ × 27°EL, vertical/horizontal polarization, compliant with RoHS and EN 301 585, V1.1.1 (2000-06).			
2.5 GHz Integral Antenna (PRO-SA CPE)	14 dBi typical, 33°AZ × 27°EL, vertical/horizontal polarization, compliant with RoHS and EN 301 585, V1.1.1 (2000-06).			
3.5 GHz Integral Antenna (PRO-SA CPE)	17 dBi typical, 20°AZ × 20°EL, vertical/horizontal polarization, compliant with RoHS and EN 302 085, V1.2.2 (2003-08) Range 1			
Max. Input Power (at antenna port)	-20 dBm before saturation 0 dBm before damage			
Output Power (at antenna port)	19 dBm +/-1 dB maximum ATPC Dynamic range: 45 dB			
Modulation	Downlink: OFDM; Uplink: OFDMA-16 BPSK, QPSK, QAM16, QAM64			
FEC	Convolutional Coding: 1/2, 2/3, 3/4			
Typical Sensitivity (BER=1E-6), 2× GHz	Modulation & Coding	Minimum SNR (dB)	Sensitivity (dBm) @ 3.5 MHz BW	Sensitivity (dBm) @ 5 MHz BW
	BPSK 1/2	2.5	-98	-96
	QPSK 1/2	5.9	-95	-93
	QPSK 3/4	8.6	-92	-90
	QAM 16 1/2	11.4	-89	-87
	QAM 16 3/4	14.8	-86	-84
	QAM 64 2/3	20	-81	-79
	QAM 64 3/4	20.9	-80	-78
Typical Sensitivity (BER=1E-6), 3× GHz	Modulation & Coding	Minimum SNR (dB)	Sensitivity (dBm) @ 3.5 MHz BW	Sensitivity (dBm) @ 5 MHz BW
	BPSK 1/2	2.5	-99	-97
	QPSK 1/2	5.9	-96	-94
	QPSK 3/4	8.6	-93	-91
	QAM 16 1/2	11.4	-89	-87
	QAM 16 3/4	14.8	-86	-84
	QAM 64 2/3	20	-81	-79
	QAM 64 3/4	20.9	-80	-78

Anexo 4 Manual de Radio Mobile

Como Agregar Unidades

En el menú File seleccionando la opción Unit Properties el programa lanza la siguiente ventana de configuración de las unidades:

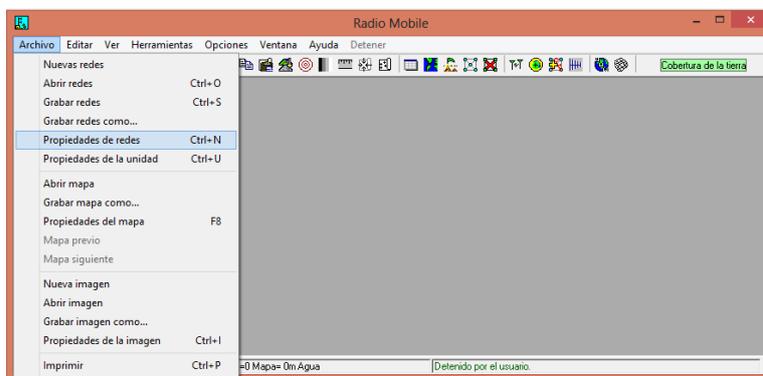


La columna de la izquierda contiene las unidades de la red con que se trabaja. En este caso se había reservado cantidad para almacenar 30 emplazamientos (Unit 1 - Unit 30). La fila superior consta de dos casillas, la primera Name permite almacenar la unidad con el nombre que se quiera dar a ese emplazamiento (por ejemplo: CETEL), la segunda contiene la elevación, Elevation, en msnm del emplazamiento para la precisión del mapa cargado, permanece a 0 mientras no se le asignen unas coordenadas, por último damos click en Apply para guardar los cambios.

Como Crear una Red

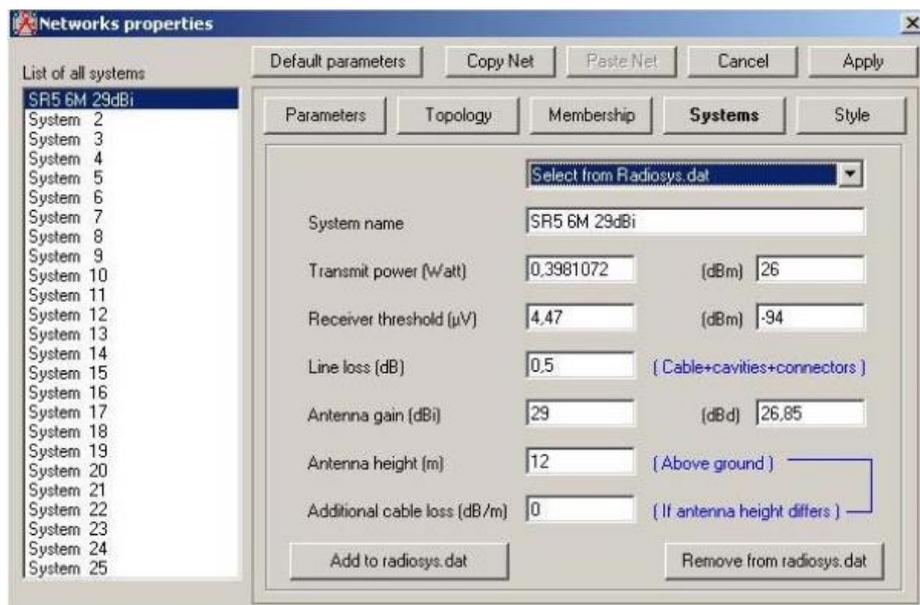
Systems o sistemas es la denominación de RadioMobile para el conjunto de equipos de radio, antenas, etc. con los que se desarrollará el trabajo.

Los sistemas se definen dentro de la ventana de configuración de las redes (Network properties). Pero pueden entenderse como un ente separado, y es recomendable entenderlas así, pues se puede tener una base de datos de sistemas independientemente de las redes donde se utilicen.



Configuración de Sistemas:

En el menú File seleccionando la opción Network Properties el programa lanza la siguiente ventana de configuración:



Pinchando en la pestaña Systems se abre la ventana de configuración de sistemas.

La columna de la izquierda contiene los sistemas de la red con que se trabaja. En este caso se había reservado cantidad para almacenar 25 sistemas (System 1 - System 25).

La ventana principal contiene:

SYSTEM NAME: permite nombrar al sistema. Por ejemplo: SR5 6M 29 dBi.

TRANSMIT POWER: representa la potencia emitida por el equipo, por ejemplo la tarjeta utilizada en este sistema es WiFi Ubiquity SR5 (super range 5) de 400 mW (26dBm). (aparece de las dos formas en W y en dBm).

RECEIVER THRESHOLD: sensibilidad del equipo receptor. Por ejemplo para esta tarjeta tenemos -94 dBm, para la velocidad de 6Mbps. Las unidades vienen dadas en μ V o dBm.

LINE LOSS: pérdidas asociadas, por ejemplo del cable coaxial que conecta la tarjeta con la antena, los conectores, pigtails, etc. Sus unidades son dB.

ANTENNA GAIN: ganancia de la antena del equipo transmisor-receptor. Sus unidades son dBi. Por ejemplo: 29 dBi.

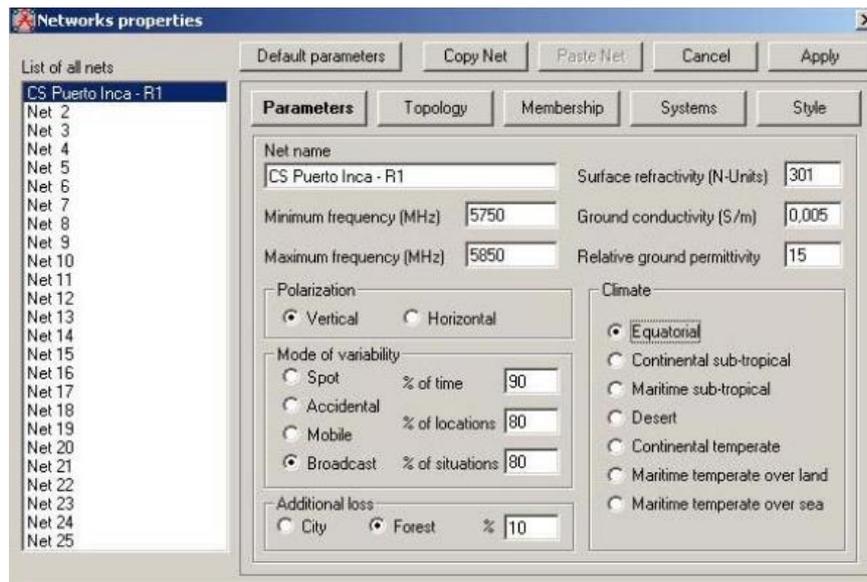
ANTENNA HEIGHT: altura a la que se ubicará la antena del equipo transmisor-receptor. Sus unidades son m. Por ejemplo: 12 dBi.

ADDITIONAL CABLE LOSS: pérdidas extra asociadas a la altura de la antena. La altura puede modificarse en el estudio posterior de la red. Es decir, cuando se está analizando un radio enlace, puede variar la altura de la antena. Estas pérdidas tienen en cuenta las que introduciría la nueva sección de cable coaxial que conecta la tarjeta con la antena. Sus unidades son Db/m.

Configuración de la Red

Para cargar los datos en la red, se abre la ventana de configuración de redes. En el menú File, se selecciona la opción New Networks.

El programa lanza la siguiente ventana de configuración:



La columna de la izquierda describe los enlaces pertenecientes a la red. En este caso hay espacio para 25 enlaces. La fila superior da acceso a diferentes pasos de la configuración de red:

DEFAULT PARAMETERS: fija los parámetros por defecto.

COPY NET y PASTE NET: copiar y pegar enlaces.

PARAMETERS: carga los parámetros generales y particulares del modelo Longley Rice. Parámetros para caracterizar el entorno de propagación.

TOPOLOGY: define la topología de la red.

MEMBERSHIP: define los emplazamientos pertenecientes a la red. Sus sistemas y su papel dentro de ésta según la topología.

SYSTEMS: define los sistemas o equipos utilizados en los emplazamientos.

STYLE: define cómo se quiere que se presenten los resultados. Coloreado de enlaces, márgenes, etc.

PARAMETERS

Aparece la ventana de configuración mostrada en el primer caso:

NET NAME: nombre del enlace.

MINIMUM FREQUENCY- MAXIMUM FREQUENCY: banda de frecuencia de trabajo en MHz. Permite trabajar entre 20MHz y 40GHz.

POLARIZATION: polarización de la antena del sistema.

MODE OF VARIABILITY: modelo de variabilidad.

ADDITIONAL LOSS: porcentaje de pérdidas adicionales para City (ciudad) o Forest (zona rural).

SURFACE REFRACTIVITY: refractividad. (N-untis)

GROUND CONDUCTIVITY: conductividad. (S/m)

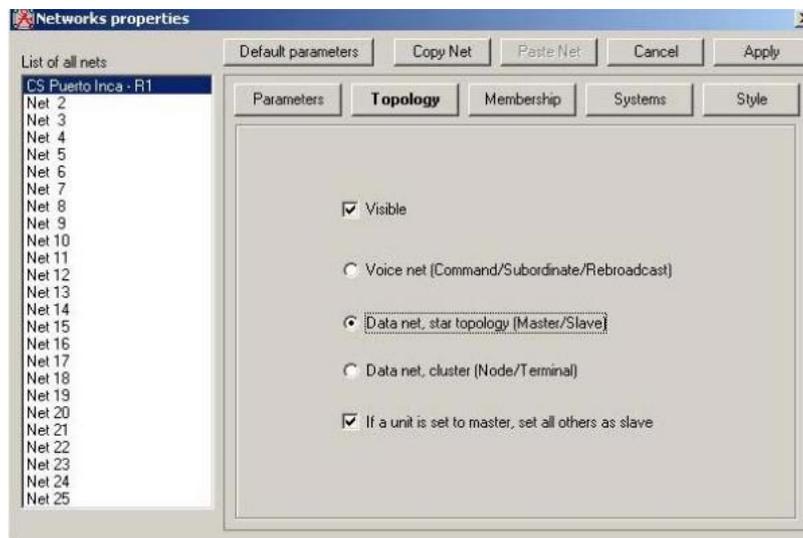
RELATIVE GROUND PERMITIVITY: permitividad.

CLIMATE: clima.

Todos los parámetros que hay que rellenar están descritos extensamente en el modelo de propagación de Longley-Rice en el que se basa.

TOPOLOGY

Aparece la siguiente ventana de configuración:



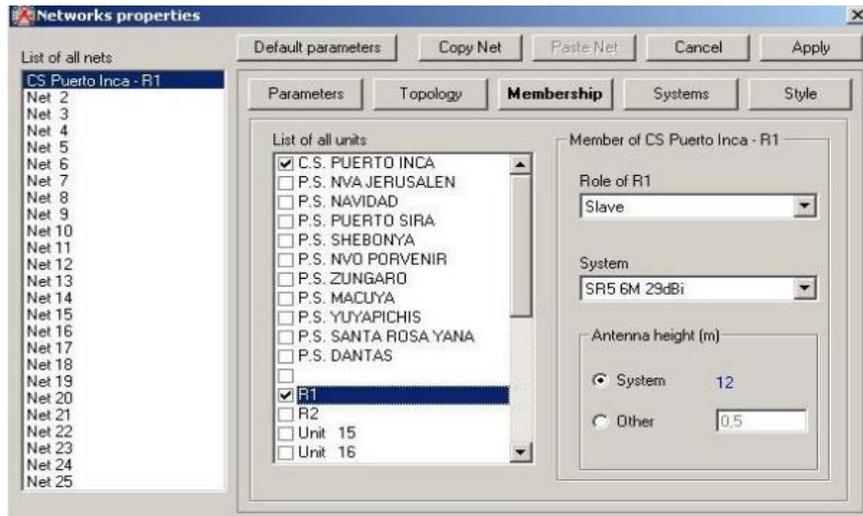
VISIBLE: se marca si se quiere que el enlace sea visible.

Existen tres tipos de topología: Voice Net; Data Net, star topology o Data net, cluster.

MEMBERSHIP

Aparece la siguiente ventana de configuración:

La primera columna List of Units (dentro de la subventana de configuración) contiene los emplazamientos (Units) que se pueden seleccionar para el enlace. Se pueden seleccionar tantos elementos como se desee, es decir, enlaces punto a punto o multipunto.



En cada Unit seleccionada, se debe determinar:

ROLE OF Unit1: comportamiento del emplazamiento dentro la topología de la red.

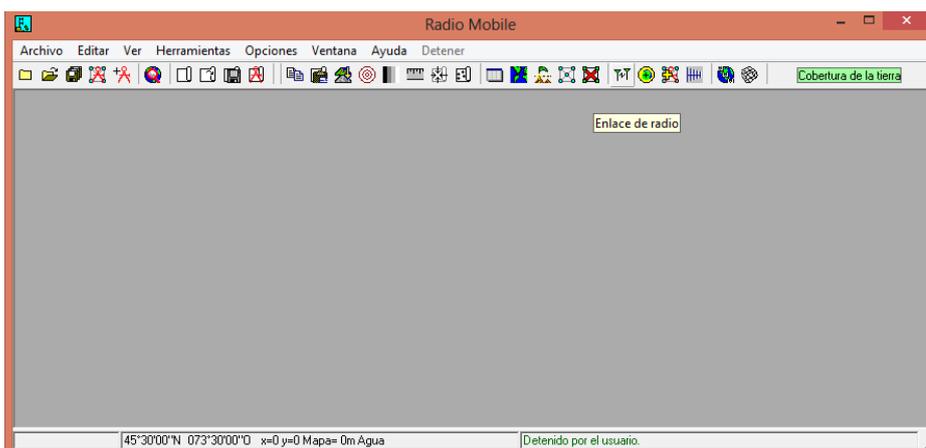
EJ: el repetidor R1 será Slave.

SYSTEM: se selecciona el sistema que irá en ese emplazamiento. Por ejemplo el sistema que definimos en el apartado de sistemas.

ANTENNA HEIGHT: si se desea modificar la altura de la antena respecto con el valor original definida en el sistema (System), se rellena el campo Other.

En este ejemplo se establece el enlace entre CS Puerto Inca y el repetidor R1.

ANÁLISIS DE RESULTADOS CON RADIO LINK





En el menú Tools seleccionando la opción Radio Link o bien en la barra de herramientas con el ícono de acceso rápido se activa la siguiente ventana:

Como se puede observar se presentan todos los resultados relativos al enlace ejemplo establecido:

En la fila superior se presentan los resultados radio eléctricos de propagación: azimuth con que está orientada la antena de CS Puerto Inca a R1 (189.9°), perdidas de espacio libre (149.2dB), distancia del enlace (22.75Km); peor ángulo de Fresnel para este trayecto (1.0F1); etc.

En particular Rx Relative permite conocer el valor de margen respecto de la sensibilidad del sistema receptor con que llega la potencia de la señal recibida. En este caso será de 27,8dB (los 28 dB que aparecían en el Network Report).

En la figura además se aprecia el perfil orográfico de este enlace. Y bajo él se describen los sistemas y topología de cada uno de los emplazamientos.

Se pueden modificar las alturas de las antenas, así como la frecuencia para comprobar el efecto de la variación de estos parámetros sobre el enlace, que se actualiza con los nuevos datos de forma automática. (pulsando en Apply).