

**ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO**

**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y  
ELECTRÓNICA**

**CARRERA DE INGENIERÍA EN  
ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES**

**PROYECTO DE GRADO PARA LA  
OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERÍA**

**“ESTUDIO Y DISEÑO DE UN SISTEMA DE  
TELECOMUNICACIONES MEDIANTE WI-MAX  
PARA EL CAMPO DE PETROPRODUCCIÓN  
SACHA EN LA PROVINCIA DE ORELLANA”**

**PAÚL CIRO ALEXANDER ESCOBAR DUQUE**

**Sangolquí – Ecuador**

**2008**

## **CERTIFICADO**

Certificamos que el Señor PAÚL CIRO ALEXANDER ESCOBAR DUQUE con cédula de identidad # 1713273850 ha desarrollado en su totalidad el proyecto de grado titulado: “ESTUDIO Y DISEÑO DE UN SISTEMA DE TELECOMUNICACIONES MEDIANTE WI-MAX PARA EL CAMPO DE PETROPRODUCCIÓN SACHA EN LA PROVINCIA DE ORELLANA”, el mismo que ha sido guiado bajo nuestra dirección.

Atentamente,

---

Sr. Ing. Fabián Sáenz. M.Sc.

**DIRECTOR**

---

Sr. Ing. Román Lara. M.Sc.

**CODIRECTOR**

## **RESUMEN**

El presente proyecto muestra el estudio y diseño de un sistema de telecomunicaciones mediante Wi-Max, en donde se realizó los análisis de cobertura con la herramienta de simulación SIRENET, en la cual se utilizó el modelo de propagación SUI tipo B, la misma que es la más óptima para ambientes boscosos y planos como el sector de Sacha.

La banda de operación del sistema de comunicación Wi-Max se realizó en 3,5 GHz, las estación base Wi-Max CBS5000 se encuentra en los campos de Petroproducción Sacha Central y Sacha Norte 2, los CPE's Wi-Max son SSU5200.

Se cubrió todas las necesidades de telecomunicaciones como es la transmisión de voz, datos y video de los campos de Sacha Central, Sacha Sur, Sacha Norte 1 y Sacha Norte 2

El análisis económico del proyecto se realizó tomando en cuenta los ingresos como si Petroproducción arrendara el servicio de Wi-Max así como su administración, operación y mantenimiento. Los cálculos de la TIR y del periodo de recuperación determinaron, que el presente proyecto es económicamente rentable y puede ser aceptado por los inversionistas.

## **DEDICATORIA**

A mi Padre Celestial, El ser que me ha guiado, protegido y cuidado durante toda mi vida y lo seguiré haciendo hasta el fin de mis días.

A mis padres y hermanos, que son mi alegría y sustento, que me han dado su confianza y apoyo incondicional.

## **AGRADECIMIENTO**

Al Creador, Dios y Padre, mi más grande apoyo, al Ser Todopoderoso que me ah dado la oportunidad de tener una hermosa familia, estupendos amigos y una magnifica vida guiada por su infinito amor.

A mi familia, a quienes amo y respeto enormemente, los cuales siempre estarán presentes en mi corazón, les agradezco por apoyarme, aconsejarme y ser mis pilares y sustento.

A mis compañeros, a los cuales les debo que mi vida universitaria sea inolvidable. Les agradezco por brindarme su confianza y amistad, por las tantas alegrías obtenidas así como las tristezas superadas.

A los señores Directivos, Administrativos y Docentes del Departamento de Eléctrica y Electrónica los cuales nos han brindado su colaboración, enseñanza y amistad, de una manera especial al Ing. Román Lara e Ing. Fabián Sáenz los mismos que con su guía han aportado para la realización del presente proyecto.

## **PRÓLOGO**

Wi-Max es una nueva tecnología que nos brinda muchas ventajas, tiene una gran cobertura y excelentes tasas de transmisión inalámbricas.

El ambiente de alta densidad boscosa y difícil acceso hace que el sistema de telecomunicaciones mediante Wi-Max sea apetecible para la zona de los campos de Sacha de Petroproducción en la provincia de Orellana.

Para entender la importancia del sistema Wi-Max para Petroproducción se realizó el análisis de la situación actual de las comunicaciones con sus diferentes sistemas de telecomunicaciones.

El presente proyecto muestra de una forma muy visual y concisa las diferentes coberturas realizadas en los campos de Sacha Central, Sacha Sur, Sacha Norte 1 y Sacha Norte 2, logradas con la herramienta de simulación SIRENET y algunos diseños planteados, los cuales están propuestos de una forma real, esto quiere decir con bandas de operación y equipos existentes en el mercado.

Los cálculos de la tasa interna de retorno y la del periodo de recuperación se realizó con datos valederos y proyectados en el futuro, así como las conclusiones y recomendaciones los cuales se enfocaron en el futuro de sistemas Wi-Max y analizados para Petroproducción y los campos de Sacha.

## INDICE DE CONTENIDO

CAPITULO I .....	1
INTRODUCCIÓN .....	1
1.2    OBJETIVOS .....	2
BIBLIOGRAFÍA CAPITULO I .....	4
CAPITULO II .....	5
DESCRIPCIÓN DE SISTEMAS Wi-Max .....	5
2.1    Reseña Histórica .....	5
2.2    Tecnología.....	7
2.2.1    Acceso bidireccional .....	7
2.2.2    Multiplexación:.....	7
2.2.3    OFDM : .....	8
2.2.4    Características de modulación OFDM .....	8
2.2.5    Uso del espectro.....	9
2.3    ARQUITECTURA Wi-Max. ....	10
2.3.1    Capa Física ( <i>PHY Layer</i> ) .....	10
2.3.2    Capa MAC (Medium Access Control) .....	11
2.4    Bandas de operación .....	12
2.5    Equipos terminales .....	13
BIBLIOGRAFÍA CAPÍTULO II .....	14
CAPITULO III .....	15
SITUACIÓN ACTUAL .....	15
3.1    Antecedentes.....	15
3.1.1    Sistemas de Comunicación de voz, datos y video por medio de equipo Harris. ....	16
Sistema de Internet. ....	19
Red de Video Conferencia. ....	20

3.1.2	Sistema de Comunicaciones de voz y datos por medio de equipo SR-Telecom .....	21
3.1.3	Sistemas de Comunicación de voz por medio de equipo Motorola.....	22
	Sistema ACU.....	22
3.2	Justificación e Importancia .....	24
3.2.1	Por el sector geográfico.....	24
3.2.2	Por la velocidad de transmisión.....	24
3.2.3	Por los servicios. ....	25
3.2.4	Por escalabilidad e implementación. ....	25
3.2.5	Por costes.....	26
3.3	Estudio geográfico.....	26
3.4	Demanda actual del servicio. ....	29
3.4.1	Estación Sacha Central: .....	29
	Sistema de Comunicación de Voz:.....	29
	Sistema de Comunicación de Datos:.....	30
	Sistema de Comunicación de Video:.....	30
3.4.2	Estaciones Sacha Sur, Sacha Norte 1 y Sacha Norte 2 : .....	31
	Sistema de Comunicación de Voz:.....	31
	Sistema de Comunicación de Datos:.....	32
	Sistema de Comunicación de Video:.....	32
	<b>BIBLIOGRAFÍA CAPÍTULO III .....</b>	<b>34</b>
	<b>CAPITULO IV.....</b>	<b>35</b>
	<b>ANÁLISIS DE COBERTURA .....</b>	<b>35</b>
4.1.	Modelos de propagación óptimos para Wi-MAX en ambientes como la región del Sacha. ....	35
	Modelo de Okumura Hata .....	36
	Modelo de Walfish-Ikegami (COST-231).....	38
	Modelo SUI .....	39
4.3.	Simulación de Zonas de cobertura mediante la herramienta de simulación SIRENET disponible en el DEEE. ....	44
	<b>BIBLIOGRAFÍA CAPÍTULO IV .....</b>	<b>60</b>

CAPITULO V .....	61
DISEÑO .....	61
5.1.    Diseño de la Red.....	61
5.1.1    Sugerencia de equipos.....	62
ESTACIÓN BASE Wi-Max: .....	63
CPE's Wi-Max: .....	65
5.1.2    Sistema de Comunicaciones.....	66
TASAS DE TRANSMISIÓN .....	66
Comunicación de Voz:.....	68
Comunicación de Datos: .....	69
Comunicación de Video:.....	70
BIBLIOGRAFÍA CAPÍTULO V .....	73
CAPITULO VI.....	74
ANÁLISIS REGULATORIO .....	74
6.1.    Análisis Regulatorio de las Telecomunicaciones.....	74
6.1.1.    El Plan Nacional de Frecuencias del Ecuador.....	74
6.2.    Títulos Habilitantes:.....	79
BIBLIOGRAFÍA CAPÍTULO VI .....	84
CAPITULO VII.....	85
ANÁLISIS ECONÓMICO .....	85
7.1.    Análisis de sensibilidad. ....	85
Ingresos.....	85
Costos Operativos, de Administración y Mantenimiento. ....	86
Egresos .....	87
Costos Operativos de Administración y Mantenimiento: .....	87
7.1.1    Calculo de TIR .....	87
7.1.2    Calculo de VAN .....	92
7.1.3    Período de Recuperación .....	94
BIBLIOGRAFÍA CAPÍTULO VII .....	96

CAPITULO VIII.....	97
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	97
8.1.    CONCLUSIONES .....	97
8.2.    RECOMENDACIONES .....	99
BIBLIOGRAFÍA CAPÍTULO VIII .....	100

## INDICE DE TABLAS

### CAPITULO II

Tabla. 2. 1. Desarrollo del estándar IEEE 802.16.....	5
Tabla. 2. 2. Perfiles de certificación del Wi-Max Forum.....	6
Tabla. 2. 3. Bandas de Frecuencias asignadas por la SNT.....	12

### CAPITULO III

Tabla 3.1: Referencias de Posicionamiento.....	28
Tabla 3.2. Líneas Telefónicas Sacha Central.....	29
Tabla 3.3. Cámaras de Vigilancia Sacha Central.....	31
Tabla 3.4. Líneas Telefónicas Sacha Sur, Norte 1 y Norte 2.....	32
Tabla 3.5. Cámaras de Vigilancia Sacha Sur, Norte 1 y Norte 2.....	33

### CAPITULO IV

Tabla 4.1: Parámetros de la Categoría del Terreno para SUI.....	41
Tabla 4.2: Parámetros de la Categoría del Terreno tipo B para SUI.....	42
Tabla 4.3: Parámetros que permite SIRENET.....	44

### CAPITULO V

Tabla 5.1. Tasa de Transmisión con relación a su modelación y código...	67
Tabla 5.2. Líneas telefónicas para comunicación de Voz.....	68
Tabla 5.3. CPE's para comunicación de Voz.....	68
Tabla 5.4. Velocidad para comunicación en internet.....	69
Tabla 5.5. Velocidad para comunicación SCADA.....	69
Tabla 5.6. CPE's para comunicación de Datos.....	70
Tabla 5.7. Velocidad para comunicación de video.....	71
Tabla 5.8. CPE's para comunicación de video.....	71

Tabla 5.9. CPE's y Canales para las comunicaciones.....	71
---	----

## CAPITULO VII

Tabla 7.1. Costo referencial del Proyecto WI-MAX.....	85
Tabla 7.2. Recuperación de Capital Anual.....	86
Tabla 7.3. Costos Operativos y de Administración.....	86
Tabla 7.4. Recuperación Anual Total.....	87
Tabla 7.5: Significado y Decisiones del valor del VAN.....	93
Tabla 7.6: Valor de VAN = 0.....	94
Tabla 7.7: Flujo de caja financiero proyectado.....	95

## INDICE DE FIGURAS

### CAPÍTULO III

Figura. 3.1. Topología del Sistema True-Point.....	16
Figura. 3.2. Equipo True Point.....	18
Figura. 3.3. Sistema Conexiones al PBX.....	18
Figura. 3.4. Topología de Sistema de Internet.....	19
Figura. 3.5. Topología de Sistema de Videoconferencia.....	20
Figura. 3.6. Topología de Sistema SR-Telecom.....	21
Figura. 3.7. Sistema ACU.....	23
Figura. 3.8. Ubicación Campos Sacha en Google Earth.....	27
Figura. 3.9. Ubicación Campos Sacha y distancias desde Sacha Central..	28

### CAPÍTULO IV

Figura. 4.1. Parámetros generales de cálculo SIRENET.....	46
Figura. 4.2. Editable de Parámetros generales de cálculo SIRENET.....	47
Figura. 4.3. Edición de Parámetros de cálculo en SIRENET.....	48
Figura. 4.4. Parámetros de cálculo en SIRENET añadidos.....	48
Figura. 4.5. Existencia del Modelo SUI editado en SIRENET.....	49
Figura. 4.6. Servicio Wi-Max en SIRENET.....	49
Figura. 4.7. Parámetros del Transmisor en SIRENET.....	50
Figura. 4.8. Parámetros del Receptor en SIRENET.....	51
Figura. 4.9. Parámetros de la Antena del Receptor en SIRENET.....	52
Figura. 4.10. Datos obtenidos en la simulación en el SIRENET.....	52
Figura. 4.11. Rango de Potencia en la Simulación en el SIRENET.....	53
Figura. 4.12. Cobertura en Simulación en el SIRENET.....	53
Figura. 4.13. Exportación a Google Earth.....	54
Figura. 4.14. Cobertura Exportada al Google Earth.....	55
Figura. 4.15. Parámetros Receptor en la banda de 5 GHz.....	55

Figura. 4.15. Cobertura comparada entre 3 GHz y 5 GHz en Google Earth.....	56
Figura. 4.16. Cobertura mediante el modelo de propagación COST-231 en Google Earth.....	57
Figura. 4.17. Comparación de cobertura entre los modelos COST-231 y SUI.....	58
Figura. 4.18. Cobertura de Roaming.....	58
Figura. 4.19. Simulación de las zonas de Cobertura.....	59

## CAPÍTULO V

Figura. 5.1. Diseño de la Red.....	61
Figura. 5.2. Diseño de la Red vista superior.....	62
Figura 5.3. Diagrama de colocación de equipos Wi-Max.....	62

## CAPÍTULO VII

Figura 7.1: Tasa vs Van.....	89
Figura 7.2. Interpolación Lineal.....	90

## GLOSARIO

**AES:** Advanced Encryption Standard, encriptación que utiliza logaritmos con 128, 192 o 256 bits.

**ATM:** Asynchronous Transfer Mode, Modo de Transferencia Asíncrono. Tecnología de transmisión asincrónica de datos en forma de paquetes.

**BACKBONE:** Conexión o una serie de conexiones que juntas forman una transmisión con gran ancho de banda.

**BACKHAUL:** Conexión de baja, media o alta velocidad que conecta equipos de telecomunicaciones encargados de hacer circular la información.

**BPSK:** Binary Phase shift keying, Pulsación de Desfasamiento Binaria.

**BS:** Base Station, Estación Base.

**COFDM:** Coded Orthogonal Frequency Division Multiplexing, Multiplexación por División de Frecuencia Cifrada Ortogonal.

**CONATEL:** Consejo Nacional de Telecomunicaciones.

**CPE:** Customer Premise Equipment, Equipo de Usuario.

**DES:** Data Encryption Standard, Estándar de Encriptación de Datos. Utiliza bloques de datos de 64 bits y una clave de 56 bits.

**DFT:** Discret Fourier transform, transformada discreta de Fourier.

**DL:** Down Link, Enlace de bajada.

**E1:** Estándar Europeo que consta de 32 canales: 2 canales de control y 30 canales de transmisión, tiene 64 Kbps por canal que dan un total de  $E1=2.048$  Mbps.

**ETHERNET:** Estándar en redes locales con topología de bus, propuesto por el IEEE en su norma 802.3.

**FDD:** Frequency Division Duplex, Duplexación por División de Frecuencia. Sistema que opera utilizando un par de frecuencias, una para Tx y otra para Rx.

**FEC:** Forward error correction. es aplicable solo a transmisiones digitales y que asegurar que los datos lleguen sin pérdidas al receptor y con su calidad.

**FFT:** Fast Fourier Transform, transformada rápida de Fourier.

**GPS:** Global Positioning System, Sistema de Posicionamiento Global.

**ICM:** Equipos para uso industrial, científico y médico (equipos ICM), no requieren de permiso de funcionamiento pero si deben estar homologadas.

**IDFT:** Transformed Discrete of Fourier Inversa. Transformada Discreta de Fourier Inversa.

**IEEE:** Institute of Electrical and Electronics Engineers, el Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos, una asociación técnico-profesional mundial dedicada a la estandarización, entre otras cosas.

**LOS:** Line of Sight access, Acceso Con línea de Vista

**MAC:** Medium Access Control, Control de Acceso Medio

**MESH:** La red inalámbrica Mesh es una red en malla implementada sobre una red inalámbrica LAN.

**MIMO:** Multiple input multiple output, Múltiple entrada múltiple salida.

**NLOS:** Non-Line of Sight access, Acceso Sin Línea de Vista.

**OFDM:** Orthogonal Frequency Division Multiplexing, Técnica de Multiplexación por División de Frecuencia Ortogonal.

**OFDMA:** Orthogonal Frequency Division Multiple Access, Acceso a Multiplexación por división de frecuencia ortogonal.

**PBX:** Private Branch Exchange, Central telefónica privada.

**PSK:** Phase Shift Keying, Modulación por desplazamiento de fase.

**QAM:** Quadrature Amplitude Modulation, Modulación de Amplitud por Cuadratura.

**QoS:** Quality of Service, Calidad de servicio.

**QPSK:** Quaternary Phase Shift Keying, Modulación por desplazamiento de fase en cuadratura.

**RSA:** El sistema criptográfico con clave pública RSA es un algoritmo asimétrico que cifra en bloques.

**SCADA:** Supervisory Control and Data Acquisition, Control supervisor y adquisición de datos.

**SLA:** Service Level Agreement, Acuerdo de Nivel de Servicios.

**SNT:** Secretaria Nacional de Telecomunicaciones.

**SOFDMA:** Acceso Múltiple por División de Frecuencia Ortogonal Escalable

**SUI:** Stanford University Interim Models, Modelos Intermedios de la Universidad de Stanford.

**T1:** Estándar de USA que consata de 24 canales, tiene 56 Kbps por canal y un total de T1=1.544 Mbps.

**TDD:** Time Division Duplex, Duplexación por División de Tiempo. Diseño en el cual diferentes slots de tiempo son utilizados para los canales de Tx y Rx

**TDM:** Time Division Multiplexing, Multiplexación por División de Tiempo.

**TDMA:** Time Division Multiple Access, Acceso Múltiple por División de Tiempo. Es una tecnología que permite acceder a diferentes usuarios en slots de tiempo por canal.

**Wi-Fi:** Wireless Fidelity, Fidelidad Inalámbrica. Es un conjunto de estándares para redes inalámbricas basado en las especificaciones IEEE 802.11

**Wi-Max:** Wideband Orthogonal Frequency Division Multiplex, Interoperabilidad Mundial para Acceso por Microonda.

# **CAPITULO I**

## **INTRODUCCIÓN**

Las siglas Wi-Max que proviene de “*Wordwide Interoperability for Microwave Access*” que traducido al español significa “Interoperabilidad Mundial para Acceso por Microonda”, tiene algunas ventajas en sus características y es la marca que certifica que un producto está conforme con los estándares de acceso inalámbrico ‘IEEE 802.16’ <sup>[1]</sup>.

En la actualidad no se encuentra implementado en Petroproducción un sistema de comunicaciones que tenga tanta capacidad, y lo que se desea crear con este estudio es un sistema de comunicación tan eficiente que se pueda transmitir voz, datos y video.

Se podrá tener acceso a internet, transmitir datos técnicos desde un lugar remoto hacia otros departamentos para realizar consultas en minutos, enviar fotos y video que es muy importante en el ámbito de seguridad en una empresa, además de control de personal.

### **1.1 RESEÑA DEL PROYECTO**

El estudio y diseño que se va a efectuar, establecerá una solución de telecomunicaciones en el campo “Sacha” de Petroproducción, en la provincia de Orellana.

Se diseñara una red Wi-Max que brindara los enlaces necesarios para que se pueda acceder a voz, datos y video.

En base a los análisis de cobertura se escogerá los modelos de propagación óptimos para el sector de “Sacha” en la provincia de Orellana con la ayuda de la herramienta de simulación “SIRENET”.

Se realizará un análisis de los equipos que permitan un buen desempeño y escalabilidad en base a las necesidades de Petroproducción y las características técnicas que poseen.

Se efectuara un análisis económico con la finalidad de determinar el costo del proyecto y establecer los parámetros que permitan incluir en los presupuestos de inversión de Petroproducción.

Con el propósito de ahorrar recursos, en el caso de que deseen implementarlo, el diseño se realizara poniendo como referencia las torres existentes en Sacha y que actualmente maneja Petroproducción para sus telecomunicaciones.

## **1.2 OBJETIVOS**

### **1.2.1 General**

Realizar un estudio y diseño de un sistema de telecomunicaciones mediante tecnología Wi-Max para el Campo de Petroproducción “Sacha” en la provincia de Orellana.

### **1.2.2 Específicos**

- Analizar la topografía del sector donde se realizara el estudio del proyecto.
- Realizar la demanda del servicio para el campo Sacha de Petroproducción y su cobertura.

- 
- Comparar los modelos de propagación óptimos para Wi-MAX en ambientes como la región del Sacha.
  - Realizar los análisis matemáticos necesarios para que exista un enlace Wi-Max.
  - Simular las zonas de cobertura mediante la herramienta de simulación SIRENET disponible en el DEEE.
  - Recomendar equipos que permitan un buen desempeño y escalabilidad en base a las necesidades de Petroproducción y las características técnicas que poseen.
  - Efectuar un análisis económico con la finalidad de determinar el costo del proyecto y establecer los parámetros que permitan incluir en los presupuestos de inversión de Petroproducción.

## **BIBLIOGRAFÍA CAPITULO I**

[1] ¿Qué es Wi-Max?, <http://blogwimax.com/que-es-wimax/>, 22/05/2008.

## CAPITULO II

### DESCRIPCIÓN DE SISTEMAS Wi-Max

#### 2.1 Reseña Histórica <sup>[1]</sup>

Wi-Max es un estándar de transmisión inalámbrica de datos que, gracias a su ancho de banda, permite el despliegue de servicios fijos de voz, acceso a internet, comunicaciones de datos en redes privadas y video, lo que lo convierte en el principal candidato para la base de las Redes Metropolitanas de acceso a Internet, además de servir de apoyo para facilitar las conexiones en zonas rurales, y usarse en el mundo empresarial para implementar las comunicaciones internas. Además, su llegada supondrá el despliegue definitivo de otras tecnologías, como VoIP (llamadas de voz sobre el protocolo IP). Otra de sus ventajas es su bajo costo de instalación y su versatilidad al ofrecer una mayor cobertura sin necesidad de cables ni otros aparatos.

A continuación se reseñan los principales antecedentes asociados al desarrollo del estándar IEEE 802.16.

Tabla. 2. 1. Desarrollo del estándar IEEE 802.16.

	<b>802.16</b>	<b>802.16-2004</b>	<b>802.16e-2005</b>
<b>Estatus</b>	Diciembre del 2001	Junio del 2004	Diciembre del 2005
<b>Frecuencia de Operación</b>	10 GHz - 66 GHz	2 GHz - 11 GHz	2 GHz - 11 GHz para fijo. 2 GHz - 6 GHz para móvil.
<b>Aplicación</b>	LOS fijo	NLOS fijo	NLOS fijo y móvil
<b>Arquitectura MAC</b>	Punto a multipunto, mesh	Punto a multipunto, mesh	Punto a multipunto, mesh

Wi-Max Forum es una asociación sin ánimo de lucro formada por decenas de empresas comprometidas con el cumplimiento del estándar IEEE 802.16. Entre esas empresas están Intel, Fujitsu, Motorola, Samsung, Lg, Nokia y Microsoft, entre más de 500 compañías. El trabajo conjunto de estas compañías permitirá diseñar los parámetros y estándares de esta tecnología, y estudiar, analizar y probar los desarrollos implementados. Con ello, se espera comenzar a ofrecer servicios de conexión a Internet a 4 Mbps, incorporando Wi-Max a los ordenadores portátiles.

**Tabla. 2. 2. Perfiles de certificación del Wi-Max Forum**

BANDA DE FRECUENCIA	ANCHO DE BANDA DEL CANAL	OFDM TAMAÑO FFT	DUPLEXACIÓN
3.5 GHz	3.5 MHz	256	FDD
3.5 GHz	3.5 MHz	256	TDD
3.5 GHz	7 MHz	256	FDD
3.5 GHz	7 MHz	256	TDD
5.8 GHz	10 MHz	256	TDD

En Corea se ha materializado las ventajas de un modelo Wi-Max móvil trabajando en 2,3GHz y se le ha acuñado el nombre de WiBRO (*Wireless Broadband*).

Samsung ha anunciado que el paso a la cuarta generación de celulares (4G) va a implicar directamente al Wi-Max, en vez de las redes actuales de transmisión de datos y telefonía.

Wi-Max se presenta como un gran avance en el acceso a Internet no sólo en las urbes, sino especialmente en las localidades alejadas de los grandes centros urbanos. Además su ventaja en la transmisión de datos lo convierte en el estándar favorito para la transmisión de Voz sobre IP.

## **2.2 Tecnología** <sup>[2]</sup>

Wi-Max es un estándar de comunicación radio de última generación, promovido por el IEEE y especialmente diseñado para proveer accesos vía radio de alta capacidad a distancias inferiores a 50 kilómetros y con tasas de transmisión de hasta 70 Mbps.

Las soluciones Wi-Max se pueden aplicar en multitud de escenarios (enlaces punto a punto, redes metropolitanas, cobertura Wi-Fi, redes empresariales, backbones, etc.) con altas garantías de disponibilidad y estabilidad.

### **2.2.1 Acceso bidireccional** <sup>[3]</sup>:

Este tipo de comunicaciones tiene una característica dúplex, es decir, existe una transmisión y recepción en los dos extremos. Como ambas comunicaciones comparten el mismo medio, es necesario establecer algún mecanismo para el control del acceso. Los métodos principales son FDD (*Frequency Division Duplex*) y TDD (*Time Division Duplex*).

El estándar Wi-Max soporta ambas técnicas de transmisión. Las soluciones para bandas licenciadas recurren a la técnica FDD, mientras que las orientadas a bandas libres usan la técnica TDD. De todas maneras, dentro de las bandas existe cierta flexibilidad a la hora de usar cada tipo de tecnología.

### **2.2.2 Multiplexación:**

Es el proceso donde múltiples canales de información se combinan en un canal de transmisión. Existen dos métodos de multiplexación principales:

TDM (*Time Division Multiplexing*) y FDM (*Frequency Division Multiplexing*), en función del recurso que comparten.

En FDM muchos canales se combinan repartiendo rangos de frecuencias espectrales, de manera similar al FDD, teniendo reservada bandas de guardia para evitar solapamientos. Para conseguir una mayor eficiencia se ha desarrollado el método OFDM.

### **2.2.3 OFDM :**

La Multiplexación por División de Frecuencias Ortogonales, en inglés *Orthogonal Frequency Division Multiplexing* (OFDM), también llamada modulación por multitono discreto, en inglés *Discreet Multitone Modulation* (DMT), es una modulación que consiste en enviar la información modulando en QAM o en PSK un conjunto de portadoras de diferentes frecuencias. Normalmente se realiza la modulación OFDM tras pasar la señal por un codificador de canal con el objetivo de corregir los errores producidos en la transmisión, entonces esta modulación se denomina COFDM, del inglés *Coded OFDM*.

Debido al problema técnico que supone la generación y la detección en tiempo continuo de los cientos, o incluso miles, de portadoras equiespaciadas que forman una modulación OFDM, los procesos de modulación y demodulación se realizan en tiempo discreto mediante la IDFT y la DFT respectivamente.

### **2.2.4 Características de modulación OFDM**

La modulación OFDM es muy robusta frente al multitrayecto (*multi-path*), que es muy habitual en los canales de radiodifusión, frente a las atenuaciones selectivas en frecuencia y frente a las interferencias de RF. Debido a las características de esta modulación, es capaz de recuperar la información de entre las distintas señales con distintos retardos y amplitudes

(fading) que llegan al receptor, por lo que existe la posibilidad de crear redes de radiodifusión de frecuencia única sin que existan problemas de interferencia.

### **2.2.5 Uso del espectro**

Uno de los principales obstáculos para permitir acelerar el despliegue de sistemas de acceso inalámbricos para entornos extensos es el coste de despliegue de la solución. Aunque en el coste total de las instalaciones incluyen varios factores (licencias, espacio para torretas, backhaul, etc.), es el coste de los equipos el componente principal. Por ello, los proveedores de servicio y fabricantes involucrados en el Wi-Max Forum es donde prestan un mayor interés.

La armonización global o la disponibilidad uniforme de espectro en todo el mundo es crucial para reducir el coste del equipamiento, ya que las radios son un componente importante en el coste total de los sistemas. Para maximizar el rendimiento del sistema radio y minimizar sus costes, las radios deben ser optimizadas para las bandas de frecuencia identificadas como interesantes para su utilización con Wi-Max. A un número menor de radiofrecuencias necesarias para cubrir todo el planeta, es posible conseguir una mejor economía de escala, resultando un menor coste del equipamiento y total del proyecto.

Los beneficios de las soluciones basadas en Wi-Max, tanto en espectro con licencia como de uso libre, sobre las soluciones cableadas, son la eficiencia en costes, escalabilidad y flexibilidad.

Se puede hablar de cuatro tipos de topologías de red basadas en nodos:

- Punto a punto.
- Punto a multipunto.
- Multipunto a multipunto.
- Metropolitanas.

## 2.3 ARQUITECTURA Wi-Max.

Se va a realizar revisar la capa Física y MAC del estándar 802.16 de la IEEE.

### 2.3.1 Capa Física (*PHY Layer*)<sup>[4]</sup>

Para aumentar la flexibilidad del uso del espectro, este tipo de interfaz soporta duplicación en el tiempo y en la frecuencia (TDD y FDD respectivamente), ambos tipos de transmisión a su vez soportan modulación y esquemas de codificación adaptivos para cada SS. En el caso de FDD se provee de la capacidad de comunicación full y half duplex.

El método de acceso de esta interfaz está basado en una combinación de TDMA y DAMA. Esto porque en el enlace UL se divide en un número de time slots, el cual es controlado por la capa MAC en la BS, y pudiendo variar para mejorar el desempeño. Por otro lado el enlace DL usa TDM, la BS multiplexa la información de todos los SSs dentro de un flujo de datos, por lo tanto la información de todos los SSs es recibido por todos los SSs dentro del sector cubierto por la BS.

Las interfaces de aire especificadas son WirelessMAN-SCa, WirelessMAN-OFDM, WirelessMAN-OFDMA y WirelessHUMAN.

La interfaz WirelessMAN-SCa corresponde a la versión que soporta NLOS de la WirelessMAN-SC, el estándar 802.16-2004 define que debe soportar TDD o FDD; uso de TDMA en ambos enlaces, UL y DL; uso de codificación FEC en los enlaces UL y DL, entre otras especificaciones.

La interfaz WirelessMAN-OFDM está basado en OFDM, ver sección F.1 del anexo, con 256 puntos. Usa acceso TDMA y su uso es obligatorio en bandas no licenciadas. Se planea utilizar principalmente para el despliegue de accesos fijos, donde los SSs están desplegados dentro de hogares y empresas.

Esta interfaz soporta subcanalización, 16 subcanales, en el enlace UL; también tiene la capacidad de realizar transmisiones TDD y FDD; soporta distintos niveles de modulación, desde BPSK hasta 64QAM; por último, en forma opcional, soporta diversidad de transmisión en el enlace DL a través del uso de STC (*Space Time Coding*) y AAS con SDMA.

En el caso de WirelessMAN-OFDMA se utiliza, como lo dice su nombre, OFDMA con 2048 puntos como técnica de acceso. En esta interfaz se asignan grupos de subportadoras a cada SS. Por requerimientos de propagación este tipo de interfaz soporta AAS. Esta interfaz además de las características de la interfaz anterior tiene la capacidad de utilizar sistemas MIMO (*Multiple Input Multiple Output*).

Por último está la interfaz WirelessHUMAN, la cual está centrada en el uso de bandas de frecuencias entre los 5 y 6 [GHz], su creación responde a la necesidad de reglamentar el uso de esta banda y poder hacerla compatible con el estándar 802.11a. Las características son básicamente las mismas a las mencionadas en las interfaces anteriores, salvo que sólo soporta transmisiones TDD.

### **2.3.2 Capa MAC (Medium Access Control)**

Esta capa provee la función de interfaz de medio independiente para la capa Física. Dado que la capa Física de WiMAX es inalámbrica, la capa MAC se centra en administrar en forma eficiente los recursos de la interfaz de aire. El protocolo MAC fue diseñado, desde un principio, para soportar aplicaciones punto a multipunto (PMP) de banda ancha, tanto en el enlace DL como en el UL, y modelos con arquitectura mesh. Además soporta servicios de distintos requerimientos, desde voz sobre IP (VoIP) hasta transmisión de datos sobre IP, a los cuales se les exigirán distintos niveles de QoS.

A la vez el protocolo MAC debe soportar diversas tecnologías en el backhaul, que conectará las BS con el núcleo de la red, incluyendo ATM y protocolos basados en el concepto de paquetes. Es por esto que en la parte superior de la capa MAC se encuentra una subcapa de convergencia.

La seguridad es un elemento importantísimo en cualquier tipo de comunicación, y más aún en redes inalámbricas en donde el medio de propagación no se puede controlar y puede ser fácilmente intervenido, es por lo cual dentro de la capa MAC existe una subcapa de seguridad que permite la autenticación, tanto para el acceso a la red como para el establecimiento de una conexión, permitiendo además la encriptación de datos.

## 2.4 Bandas de operación <sup>[5]</sup>

La tecnología Wi-Max opera en bandas con licencia como la de 3.5 GHz y en bandas sin licencia como la banda ICM. Para el desarrollo del proyecto hemos escogido la banda ICM puesto que no requiere licencia, mientras que las bandas con licencia son concesionadas por el CONATEL.

Se aprobará la operación de sistemas de radiocomunicaciones que utilicen técnicas de Modulación Digital de Banda Ancha en las siguientes bandas de frecuencias:

**Tabla. 2. 3. Bandas de Frecuencias asignadas por la SNT**

BANDA (MHz)	ASIGNACIÓN
902 – 928	ICM
2400 - 2483.5	ICM
5150 – 5250	INI
5250 – 5350	INI
5470 – 5725	INI
5725 - 5850	ICM, INI

El CONATEL aprobará y establecerá las características técnicas de operación de Sistemas de Modulación Digital de Banda Ancha en bandas distintas a las indicadas en la presente Norma, previo estudio sustentado y emitido por la Secretaría Nacional de Telecomunicaciones.

## **2.5 Equipos terminales**

Para nuestro estudio existen dos tipos de equipos terminales:

- Outdoor (al aire libre).
- Indoor (interno).

Deben soportar todas las características de Wi-Max de 802.16 – 2004 obligatorias.

Estos equipos terminales son el enlace para:

- Servicios de acceso a internet
- VoIP residencial acceso
- Servicios P.B.X. de IP de la empresa
- Acceso de la red de datos público y privada
- Redes Wi-Fi
- VPN de IP
- Servicios multimedia (Sistema de audio continuo, video, Videoconferencia, etc.)

## BIBLIOGRAFÍA CAPÍTULO II

[1]Vallejos, Jonathan, Wimax: La revolucion que viene, <http://informaticaysoprote.blogspot.com/2007/10/wimax-la-revolucion-que-viene.html>, 22/05/2008.

[2]Flores, Diego, Estado del Arte y Aplicaciones de Tecnologías de Comunicaciones y Redes Inalámbricas, [http://hosting.udlap.mx/profesores/luisg.guerrero/Cursos/IE334/Primavera2008/Investigacion/Presentacion\\_Investigacion\\_QAMs.ppt](http://hosting.udlap.mx/profesores/luisg.guerrero/Cursos/IE334/Primavera2008/Investigacion/Presentacion_Investigacion_QAMs.ppt), 23/05/2008.

[3] Wi-Max: la revolución inalámbrica, [www.quobis.com](http://www.quobis.com), 16/05/2008.

[4] Muñoz, Marco, *Metodologías, Criterios y Herramientas para la Planificación de Redes Inalámbricas* <http://toip.uchile.cl/mediawiki/index.php/WiMAX>, 03/06/2008.

[5] Norma para la implementación y operación de sistemas de modulación digital de banda ancha, [www.conatel.gov.ec](http://www.conatel.gov.ec), 03/06/2008.

## CAPITULO III

### SITUACIÓN ACTUAL

#### 3.1 Antecedentes.

El Estudio a desarrollarse a continuación se basará en los Sistemas que en la actualidad se encuentran funcionando y se encuentran en operación.

Esta investigación nos permitirá obtener información actualizada, la misma que será procesada con la finalidad de conocer la situación en la que se desenvuelven las comunicaciones en la estación SACHA de Petroproducción.

En Petroproducción, actualmente, se dispone de la Unidad de Telecomunicaciones, la que proporciona varios servicios de comunicaciones las mismas que transmiten voz, datos y video. Las que se han podido realizar gracias a la implementación de varios sistemas de comunicación.

Los Sistemas de Comunicaciones en la actualidad en Petroproducción son:

- Sistemas de Comunicación de voz, datos y video por medio de equipo Harris.
- Sistemas de Comunicación de voz y datos por medio de equipo SR-Telecom.
- Sistemas de Comunicación de voz por medio de equipo Motorola.

### 3.1.1 Sistemas de Comunicación de voz, datos y video por medio de equipo Harris.

Sistema de comunicación con equipos True-Point de la marca Harris, el cual nos brinda ciertas ventajas como un canal de comunicación con un mayor ancho de banda y administración remota por medio de conexión en red.

Se realizó un plan de frecuencias para el sistema True-Point y se implemento con el siguiente diseño:

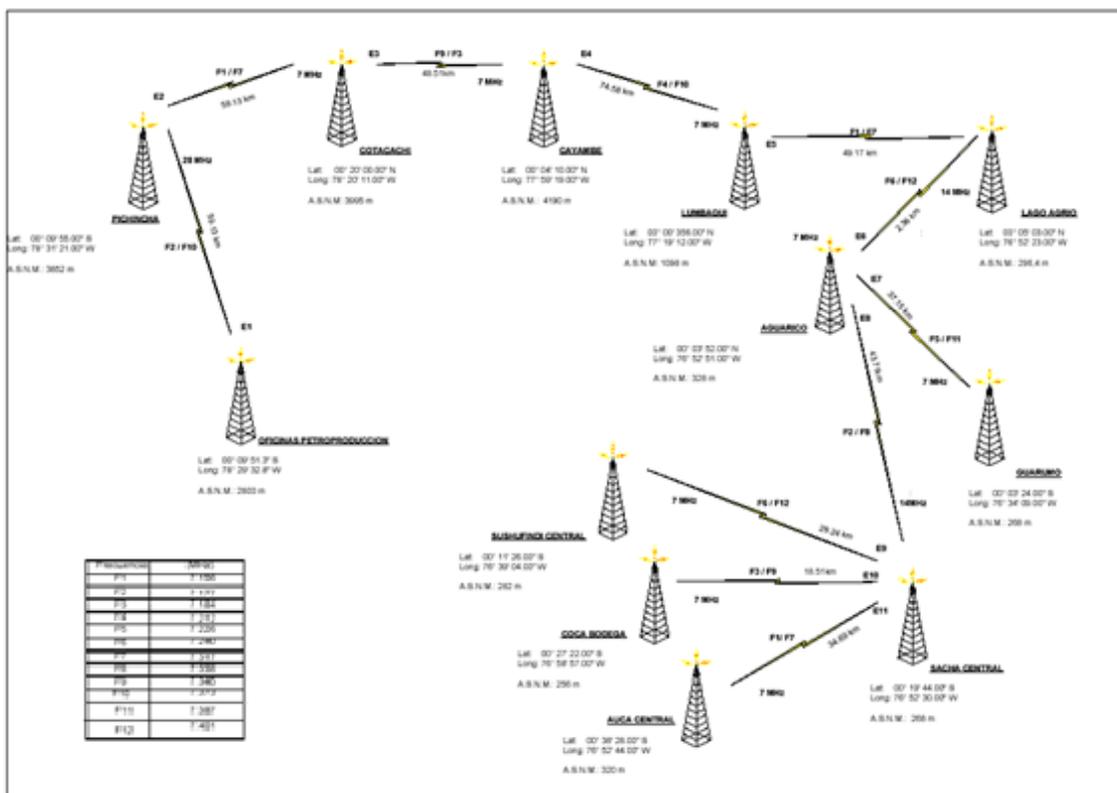


Figura. 3.1. Topología del Sistema True-Point.

El sistema True-Point se efectuó solo para las estaciones principales del Distrito Amazónico y en la ciudad de Quito ya que se tiene una demanda significativa de canales de voz en cada una de ellas.

Los enlaces de los diferentes campos en el Distrito Amazónico comienza en la estación Lago Agrio y se enlaza con Aguarico donde se abre hacia Guarumo y Sacha Central.

Sacha Central se encuentra enlazado con Shushufindi Central, Bodega Coca, Auca Central y Aguarico.

El sistema de equipos Harris es el principal sistema utilizado punto a punto en el Distrito Amazónico, la base principal se haya en Lago Agrio, la misma que es interconectada entre todos los campamentos del Distrito Amazónico y Quito.

Tiene una gran capacidad de desarrollo de crecimiento de voz, datos y video. La capacidad es de hasta 16 E1's en el campamento principal Lago Agrio y un máximo de 8 E1's en los otros campos.

En la estación Lago Agrio reparte los diferentes E1's a las estaciones, enviando 12 E1's el cual llega al Aguarico captando 2 E1's para esta estación y repartiéndose 2 E1's para Guarumo y 8 E1's para Sacha Central de los cuales se reparte al Auca Central, Shushufindi Central y para Bodega Coca con 2 E1's para cada estación, quedándonos 2 E1's para Sacha Central.



**Figura. 3.2. Equipo True Point.**

Las llamadas telefónicas que se realizan van al PBX en donde se direccionan, las llamadas locales que son las del mismo campo regresan por su red de telefonía privada mientras que las llamadas realizadas hacia otras estaciones primero pasan por un MUX de marca BAYLY PCM MUX donde son multiplexadas en unidades de 30 canales de voz (64 Kbps x canal) y enviadas al True-Point 5200 RFU 7.



**Figura. 3.3. Sistema Conexiones al PBX.**

Se puede configurar el ancho de banda requerido hasta 2 Mbps

Cada True-Point tiene una dirección IP con la cual podemos conectarnos en red con un computador y poder administrarlo por medio de un software llamado Start View con el cual se puede visualizar las características de los diferentes equipos y programarlos. Esto nos permite una administración remota.

- **Sistema de Internet.**

El internet es administrado y adquirido en Quito y repartido al Distrito Amazónico por medio del sistema de comunicaciones True-Point.

La Administración se lo realiza desde Quito donde programan el ancho de banda en internet para cada estación igual que las direcciones IP que pueden tener acceso y sus respectivas restricciones para cada una.

En cada estación se envía a un switch para que pueda acceder cada Access Point.

El siguiente gráfico nos indica la distribución de los diferentes anchos de banda para internet.

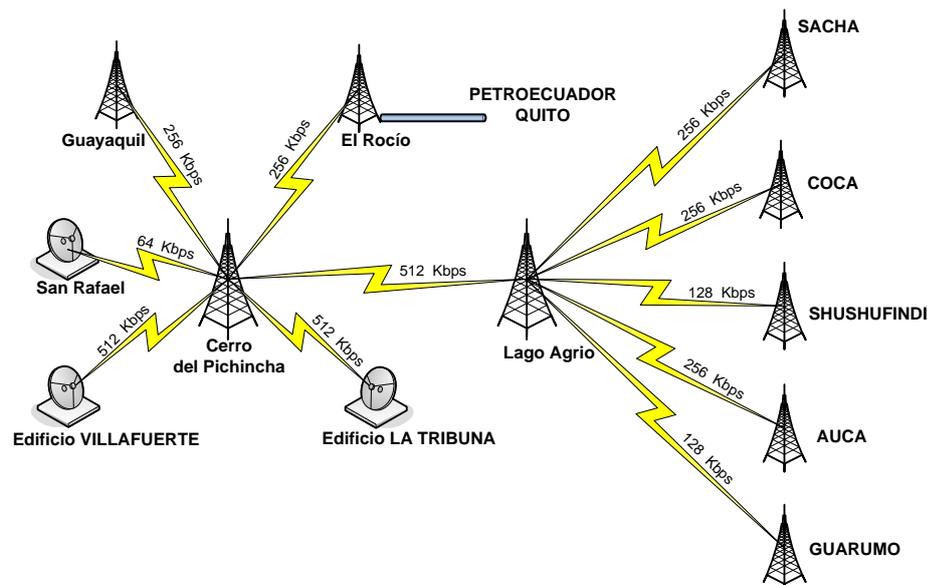


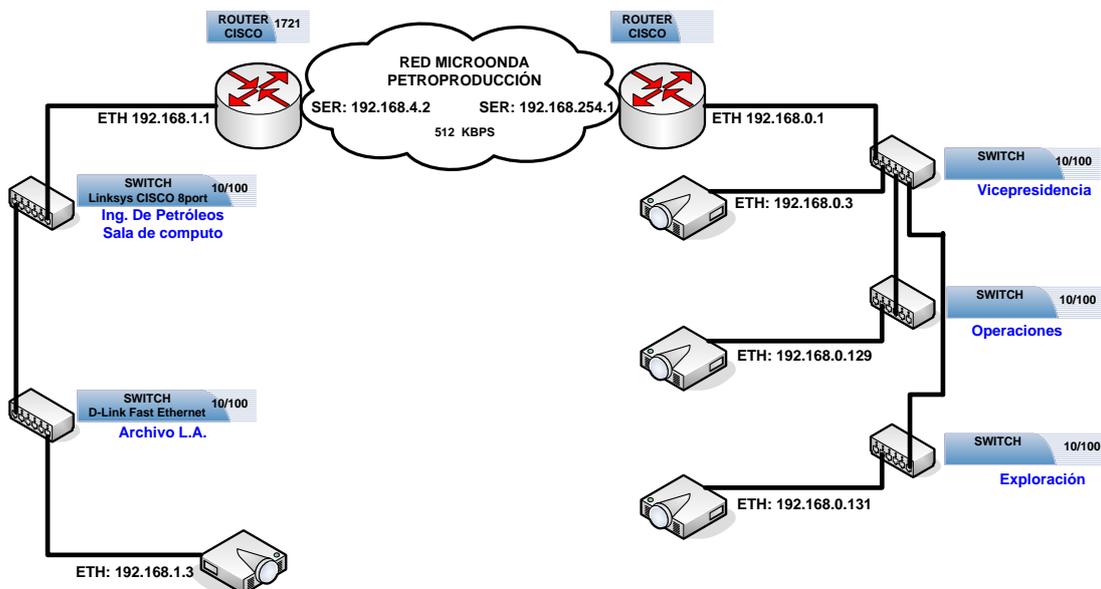
Figura. 3.4. Topología de Sistema de Internet.

En la estación Lago Agrio por medio del True-Point se enviado a un router de marca Cisco serie 1721 y enrutada al servidor de internet.

En Quito se encuentra un servidor Proxy Firewall Start de marca Dell.

- **Red de Video Conferencia.**

El ancho de banda implementado para la video conferencia es de 512 Kbps y la red de microonda es el True-Point.



**Figura. 3.5. Topología de Sistema de Videoconferencia.**

Los sectores donde se encuentra implementada videoconferencia es en la Vicepresidencia, Operaciones, Exploración en la ciudad de Quito y en la sala de Cómputo para los de ingeniería en Petróleos y los de los archivos en Lago Agrio.

### 3.1.2 Sistema de Comunicaciones de voz y datos por medio de equipo SR-Telecom

El sistema de comunicaciones se diseño con el siguiente manera:

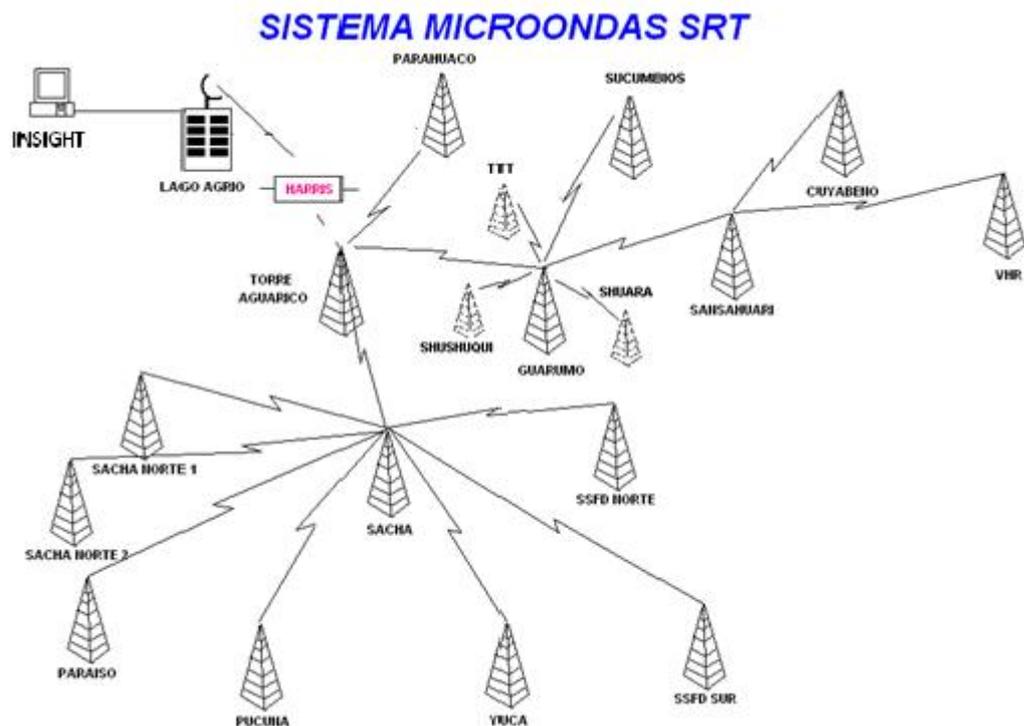


Figura. 3.6. Topología de Sistema SR-Telecom.

El sistema SRT 500 tiene su base principal en Torre Aguarico donde se expande hacia Sacha, Guarumo y Parahuaco. Después se realizó el análisis para adherir al campamento Auca y a Cononaco donde se realizó el enlace dando servicio a sus subestaciones.

En las estaciones principales los cuales son Sacha Central, Guarumo, Auca Central, Cononaco Campamento y Sansahuari solo existe repetidores para poder llegar eficientemente a las subestaciones aledañas a ellas por el motivo de que en un principio todo el distrito amazónico solo poseía el sistema SRT 500 y desean en la actualidad emigrar al sistema Harris con los equipos True Point pero no han podido implementar en las subestaciones por falta

de presupuesto, aunque no es de prioridad por el momento ya que en las subestaciones los equipos Slim 10 y Slim 34 cubren por completo la demanda de líneas telefónicas y datos, por lo que se sigue con el sistema SRT 500 en estos lugares.

Los equipos Slim 10 pueden transportar hasta 10 canales de 64 Kbps, con dos tarjetas que contienen 4 canales cada una, y 2 canales de control, esto nos indica que podemos insertar tarjetas de datos en donde tendremos 256 Kbps (64 Kbps X 4) con cada tarjeta de datos que pongamos, del mismo modo con los equipos Slim 34 que pueden transportar hasta 34 canales de 64Kbps, con ocho tarjetas que contienen 4 canales cada una, y 2 canales de control. Los canales de control se las pueden utilizar pero no es aconsejable realizarlo.

### **3.1.3 Sistemas de Comunicación de voz por medio de equipo Motorola.**

El sistema de comunicación por medio de equipo Motorola es para comunicación móvil y personal

Los equipos de radio portátil como personales son en su mayoría PRO 7150 y PRO 5150 y para los automóviles los equipos con bases móviles son PRO 5100.

La cobertura que nos brinda el sistema Motorola es de alrededor de 20 Km y varía según el relieve del terreno.

- **Sistema ACU.**

Este sistema brinda una gran solución de interoperabilidad para unir 2 o más sistemas de telecomunicaciones áreas que antes no se podían enlazar.

Se pueden comunicar entre estaciones por medio de la red True-Point donde la señal de voz que receipta es:

1. Transformada a digital en el equipo NXU.
2. Enrutada en un router de marca Cisco.
3. Multiplexada en el Bayly.
4. Enviada a lago agrario por medio del True-Point donde le enrutan hasta el destino final con el programa y equipo ACU CONTROLLER.

En el siguiente gráfico se encuentra lo explicado anteriormente:

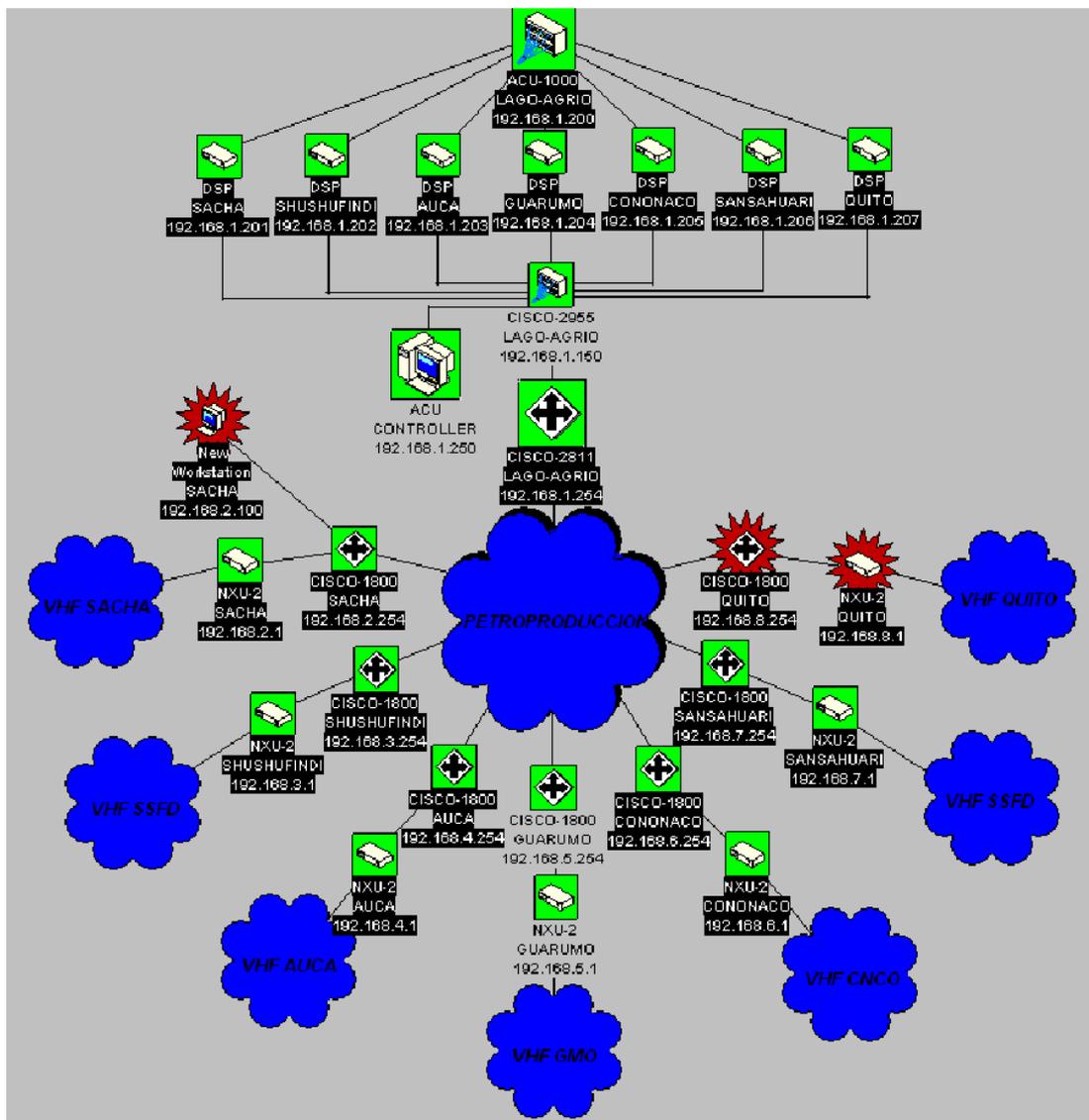


Figura. 3.7. Sistema ACU.

La señal de voz es receptada en el repetidor de los equipos Motorola pero puede ser señales UHF, VHF, microonda, celulares, voz de un teléfono convencional, etc.

### **3.2 Justificación e Importancia**

El proyecto planteado contempla, estudio y diseño de un sistema Wi-Max para Petroproducción y constituye una herramienta importante para el mejoramiento de los servicios de telecomunicaciones que permitirá a los trabajadores utilizar estas herramientas de trabajo con un mejor desempeño.

#### **3.2.1 Por el sector geográfico.**

Por el sector geográfico Wi-Max es una excelente alternativa para la telecomunicación en Sacha la provincia de Orellana, ya que utiliza OFDM (*Orthogonal Frequency División Multiplexing*) que es una técnica de modulación digital de espectro ensanchado para alcanzar una buena calidad en entornos hostiles como el Distrito Amazónico.

Además se puede realizar conexiones sin línea de vista (NLOS) teniendo un rango de cobertura de hasta 48 Km, lo que nos facilita el levantamiento de la infraestructura y su implementación en lugares de difícil acceso como los pozos aledaños a las estaciones y subestaciones.

#### **3.2.2 Por la velocidad de transmisión.**

Capacidad para transmitir datos a una tasa de hasta 70 Mbps, con canales que van desde 1,5 MHz hasta 20 MHz en donde se podrán ofrecer una mayor rapidez de voz, datos y video en tiempo real que nos servirá para vigilancia, control del personal, control de procesos y rapidez para realizar las acciones pertinentes dentro y fuera de las estaciones de una manera más apropiada y eficiente.

### 3.2.3 Por los servicios. <sup>[1][2]</sup>

Soporta varios cientos de usuarios por canal, con un gran ancho de banda y es adecuada tanto para tráfico continuo como a ráfagas, siendo independiente del protocolo, esto quiere decir que puede transporta IP, Ethernet, ATM, etc., sin ningún inconveniente y además soporta múltiples servicios agregados simultáneamente ofreciendo Calidad de Servicio (QoS) en 802.16e, por lo cual resulta adecuado para voz sobre IP (VoIP), datos y vídeo.

La modulación OFDM se realiza con 256 subportadoras, la cual puede ser implementada de diferentes formas, según cada operador, siendo la variante de OFDM empleada un factor diferenciador del servicio ofrecido.

Este estándar soporta niveles de servicio (SLAs) y calidad de servicio (QoS).

En cuanto a seguridad, incluye medidas para la autenticación de usuarios y la encriptación de los datos mediante los algoritmos Triple DES (128 bits) y RSA (1.024 bits).

### 3.2.4 Por escalabilidad e implementación. <sup>[3]</sup>

El estándar inicial 802.16 se encontraba en la banda de frecuencias de 10 a 66 GHz y requería torres con línea de vista (LOS). La nueva versión 802.16a, ratificada en marzo de 2003, utiliza una banda del espectro más estrecha y baja, de 2-11 GHz, facilitando su regulación. Además, como ventaja añadida, no requiere de torres LOS sino únicamente del despliegue de estaciones base (BS) formadas por antenas emisoras/receptoras con capacidad de dar servicio a unas 200 estaciones suscriptoras (SS) que pueden dar cobertura y servicio integralmente a todas las estaciones y subestaciones del Distrito Amazónico.

Soporta las llamadas antenas inteligentes (*smart antennas*), lo cual mejora la eficiencia espectral, llegando a conseguir 5 bps/Hz, el doble que 802.11a. Estas antenas inteligentes emiten un haz muy estrecho que se puede ir moviendo, electrónicamente, para enfocar siempre al receptor, con lo que se evitan las interferencias entre canales adyacentes y se consume menos potencia al ser un haz más concentrado.

### 3.2.5 Por costes. <sup>[4]</sup>

Su instalación es muy sencilla y rápida y su un costo extremadamente baja.

Un equipo Wi-Max que opere en bandas de frecuencia exentas de licencia usará duplicación por división de tiempo (TDD) lo que ahorra el pago del espectro radioeléctrico al estado ecuatoriano quedando libre el mismo.

El coste puede ser hasta 10 veces menor que en el caso de emplear un enlace E1 o T1.

## 3.3 Estudio geográfico.

El estudio geográfico se realizó tomando las coordenadas geográficas por medio de un GSP de marca MAGELLAN modelo 39018 con el cual visitamos las torres de las distintas estaciones y subestaciones pertenecientes a Sacha Central para medir su latitud, longitud y la cota del terreno obteniendo los siguientes datos:

Sacha Central:

Latitud	: 00°19'43,60''S.
Longitud	: 76°52'30,43''W.
Cota Terreno	: 268,00 m.

**Sacha Norte 1:**

Latitud : 00°18'28,55"S.  
Longitud : 76°51'23,49"W.  
Cota Terreno : 269,123 m.

**Sacha Norte 2:**

Latitud : 00°13'10,68"S.  
Longitud : 76°50'34,80"W.  
Cota Terreno : 276,486 m.

**Sacha Sur:**

Latitud : 00°22'12,046"S.  
Longitud : 76°52'46,17"W.  
Cota Terreno : 262,610 m.

Los datos obtenidos lo ingresamos en el Google Earth para visualizar de una manera más real la ubicación de las estaciones entre sí, teniendo como sitio principal la estación Sacha Central donde se encuentra una torre de 135 m de altura.



**Figura. 3.8. Ubicación Campos Sacha en Google Earth.**

En la Tab. 3.1 se encuentran la posición de las estaciones y las distancias entre la estación Sacha Central con respecto a las estaciones Sacha Sur, Sacha Norte 1 y Sacha Norte 2.

**Tabla 3.1: Referencias de Posicionamiento.**

DESDE (estación)	HASTA (estación)	DISTANCIA (metros)	Az (grados-minutos-segundos)
Sacha Central	Sacha Sur	4.586,03	186°04'54,4"
Sacha Central	Sacha Norte 1	3.098,78	41°54'40,61"
Sacha Central	Sacha Norte 2	12.588,83	16°29'37,79"

Visualizado desde el Google Earth con las distancias de referencia desde el campo Sacha Sur hacia los demás campos.



**Figura. 3.9. Ubicación Campos Sacha y distancias desde Sacha Central.**

### 3.4 Demanda actual del servicio.

Para calcular la demanda de comunicaciones en Petroproducción específicamente en las estaciones Sacha Central, Sacha Sur, Sacha Norte 1 y Sacha Norte 2 se debe de tener en cuenta todos los equipos y servicios que actualmente se utilizan y cuantos se van agregar en un futuro. Se desea que un sistema de comunicaciones gobierne y abarque todos los servicios que tienen y deseen tener para la trasportación de voz, datos y video como por ejemplo del sistema Scada, trasportación de video para un sistema de red de vigilancia, etc.

#### 3.4.1 Estación Sacha Central:

- **Sistema de Comunicación de Voz:**

El sistema de comunicación de voz da servicio para las líneas telefónicas que se encuentran en la tabla.

**Tabla 3.2. Líneas Telefónicas Sacha Central.**

ESTACIÓN	DEPARTAMENTO	LÍNEAS TELF.
Sacha Central	Garita	1
Sacha Central	Ofic. Centrales	17
Sacha Central	Oleoducto	6
Sacha Central	Telecomunicaciones	6
Sacha Central	Automotriz	3
Sacha Central	Mant. Equipo Pesado	13
Sacha Central	Turbinas	7
Sacha Central	PEPDA	12
Sacha Central	Lab. Corrosión	1
Sacha Central	Autobomba	2
Sacha Central	Disp. Medico	3
Sacha Central	Comedor	2
Sacha Central	Club	1
Sacha Central	Bloque A	8
Sacha Central	Bloque B	8
Sacha Central	Bloque C	8

ESTACIÓN	DEPARTAMENTO	LÍNEAS TELF.
Sacha Central	Bloque D	8
Sacha Central	Bloque E	5
Sacha Central	Bloque F	5
Sacha Central	Bloque G	12
Sacha Central	Bloque H	12
<b>TOTAL</b>		<b>140</b>

Las líneas telefónicas son suficientes para la estación Sacha Central y si fuera necesario añadir líneas telefónicas, la central telefónica de la estación lo abastecería enseguida.

- **Sistema de Comunicación de Datos:**

En la actualidad se posee 256 Kbps en internet para toda la estación Sacha Central, existen 31 computadoras que poseen internet según lo consultado en el departamento de sistemas de Petroproducción, en donde se ve evidente aumentar la velocidad del internet.

- **Sistema de Comunicación de Video:**

En la actualidad no existe una red de video para controlar la seguridad en las estaciones.

Lo que se desea implementar es un sistema de comunicación de video para que se pueda realizar vigilancia todos los días del año y las 24 horas del día y poder visualizar para poder dar y brindar una mayor seguridad a todo el campamento.

La siguiente tabla indica las cámaras que se necesitan y el lugar donde van a ser instaladas.

**Tabla 3.3. Cámaras de Vigilancia Sacha Central.**

<b>ESTACIÓN</b>	<b>DEPARTAMENTO</b>	<b>CÁMARAS DE VIGILANCIA</b>
Sacha Central	Garita	1
Sacha Central	Ofic. Centrales	1
Sacha Central	Oleoducto	1
Sacha Central	Telecomunicaciones	1
Sacha Central	Automotriz	1
Sacha Central	Mant. Equi. Pesado	1
Sacha Central	Turbinas	1
Sacha Central	PEPDA	3
Sacha Central	Lab. Corrosión	1
Sacha Central	Autobomba	1
Sacha Central	Disp. Medico	1
Sacha Central	Comedor	2
Sacha Central	Club	1
Sacha Central	Bloque A-B	1
Sacha Central	Bloque C-D	1
Sacha Central	Bloque E-F	1
Sacha Central	Bloque G-H	1
<b>TOTAL</b>		<b>20</b>

### 3.4.2 Estaciones Sacha Sur, Sacha Norte 1 y Sacha Norte 2 :

- **Sistema de Comunicación de Voz:**

Se enlazan mediante el sistema de comunicación SRT 500 para las estaciones Sacha Sur, Sacha Norte 1 y Sacha Norte 2 en donde existen los equipos terminales Slim 10 en donde solo se puede tener hasta 10 canales de 64 Kbps.

Las líneas telefónicas existentes en estas estaciones se encuentran en la siguiente tabla:

**Tabla 3.4. Líneas Telefónicas Sacha Sur, Norte 1 y Norte 2.**

<b>ESTACIÓN</b>	<b>DEPARTAMENTO</b>	<b>LÍNEAS TELF.</b>
Sacha Sur	Producción	1
Sacha Sur	Power Oil	1
Sacha Norte 1	Garita	1
Sacha Norte 1	Reinyección Agua	1
Sacha Norte 1	Turbinas	3
Sacha Norte 2	Garita	1
Sacha Norte 2	Producción	1
<b>TOTAL</b>		<b>9</b>

En un futuro no se ve necesario la necesidad de aumentar las líneas telefónicas, ya que se encuentran abastecidas en su totalidad.

- **Sistema de Comunicación de Datos:**

Actualmente se encuentra implementado el sistema SCADA en estas estaciones.

- **Sistema de Comunicación de Video:**

No existe ningún sistema de comunicación de video en estas estaciones, pero lo que se desea implementar es una red de cámaras de video de seguridad que se encuentre en vigilancia las 24 horas al día los 365 días de la semana.

La siguiente tabla nos indica las cámaras de video que se deben de instalar y el departamento al que corresponden.

Tabla 3.5. Cámaras de Vigilancia Sacha Sur, Norte 1 y Norte 2.

ESTACIÓN	DEPARTAMENTO	CÁMARAS DE VIGILANCIA
Sacha Sur	Garita	1
Sacha Sur	Producción	1
Sacha Sur	Power Oil	1
Sacha Norte 1	Garita	1
Sacha Norte 1	Reinyección Agua	1
Sacha Norte 1	Turbinas	1
Sacha Norte 2	Garita	1
Sacha Norte 2	Producción	1
<b>TOTAL</b>		<b>8</b>

## BIBLIOGRAFÍA CAPÍTULO III

[1] Arrancan con WIMAX, [www.gonzas.net/index.php/arrancan-con-wimax](http://www.gonzas.net/index.php/arrancan-con-wimax), 15/05/2006, 06/07/2006.

[2] Montoya, Ruben, Simulación de la interfaz de aire para sistemas fijos de acceso inalámbrico de banda ancha wimax (IEEE 802.16-2004), [http://www.univalle.edu.co/~telecomunicaciones/trabajos\\_de\\_grado/anteproyectos/anteproyecto\\_TG-0364.pdf](http://www.univalle.edu.co/~telecomunicaciones/trabajos_de_grado/anteproyectos/anteproyecto_TG-0364.pdf), 10/07/2008.

[3] Salinas, Juan Pablo, WiMAX, <http://nomadenet.bligoo.com/content/view/210103/WiMAX.html> , 13/06/2008, 13/07/2008.

[4] Huidobro, José, WiMAX. ¿El sustituto de Wi-Fi?, [www.monografias.com/trabajos16/wimax/wimax.shtml](http://www.monografias.com/trabajos16/wimax/wimax.shtml), 15/07/2008.

## CAPITULO IV

### ANÁLISIS DE COBERTURA <sup>[1]</sup>

#### 4.1. Modelos de propagación óptimos para Wi-MAX en ambientes como la región del Sacha.

Los modelos de propagación son muy necesarios para realizar los análisis de cobertura, por lo cual en este capítulo vamos a analizarlos y comprenderlos para saber cómo afectan en un sistema de comunicación por medio de Wi- MAX.

Los modelos de propagación son un conjunto de expresiones matemáticas, diagramas y algoritmos usados para representar total o parcialmente las características del canal de radio en un ambiente dado.

De manera general, los modelos tienen la siguiente clasificación:

1. Modelos determinísticos (o teóricos).
  2. Modelos empíricos (o estadísticos).
  3. Modelos mixtos o híbridos.
- **Los modelos determinísticos:** Llamados también teóricos se distinguen por basarse en los principios fundamentales de los fenómenos de radiopropagación; debido a esto, pueden ser aplicados a los diferentes entornos sin que ello afecte su exactitud.
  - **Los modelos empíricos:** Llamados estadísticos están basados en mediciones y por tanto, se toman en cuenta todas las influencias ambientales sin importar el hecho de que estas puedan ser reconocidas

por separado. En esto radica la principal ventaja de ellos. Su precisión no depende solamente de la exactitud de las mediciones, sino también de la semejanza entre el medio analizado y el contexto donde se llevan a cabo las mediciones. Su eficiencia computacional es generalmente satisfactoria.

- **Los modelos mixtos:** Se basan en una combinación de los modelos determinísticos y empíricos, que da lugar a una variedad de combinaciones.

Es posible hacer otras clasificaciones, según el ambiente (interior o exterior), o según la dimensión del entorno de propagación.

### **Modelo de Okumura Hata**

Existen experimentos realizados en Japón en donde se extrajeron unas curvas que proporcionan valores de intensidad para el medio urbano con diferentes alturas efectivas de antenas, bandas de 150 MHz, 450 MHz y 900 MHz, y una potencia radiada aparente de 1 kw. La altura de la antena de recepción es de 1.5 m, que es el valor típico en aplicaciones móviles.

Acompañan a las curvas, correcciones que tienen en cuenta los efectos de ondulación, pendiente y heterogeneidad del terreno, presencia de obstáculos significativos, altura de antena receptora, potencia radiada aparente, y en el caso de las zonas urbanas, la orientación de las calles y la densidad de edificación.

El método de Okumura es muy minucioso, y en algunos aspectos, subjetivo, pero proporciona resultados bastante acordes a las mediciones, razón por la cual es utilizado por numerosos software de predicción y como método para comparar.

La conveniencia de informatizar el método condujo a Hata a desarrollar expresiones numéricas que convergen con las curvas de propagación

de Okumura, incluyendo además las correcciones más usualmente utilizadas en las radiocomunicaciones móviles. Hata obtuvo, mediante el análisis de regresión múltiple, una serie de expresiones que proporcionan la pérdida básica de propagación ( $L_b$ ) para ambientes urbanos, suburbanos y rurales. La fórmula fundamental de Hata, que proporciona  $L_b$  en un medio urbano y sirve de referencia para los demás entornos de propagación, es la siguiente:

$$L_b(dB) = 69.55 + 26.16 \log f - 13.82 \log ht - a(hm) + (44.9 - 6.55 \log ht) \log d$$

Donde:

$f$ : Frecuencia (MHz), en la gama  $150 \text{ MHz} \leq f \leq 1500 \text{ MHz}$ .

$Ht$ : Altura efectiva de la antena transmisora (m), en la gama  $30 \text{ m} \leq ht \leq 200 \text{ m}$ .

$hm$ : Altura sobre el suelo de la antena receptora (m), en la gama  $1 \text{ m} \leq hm \leq 10 \text{ m}$ .

$d$ : Distancia (km) en la gama  $1 \text{ km} \leq d \leq 20 \text{ km}$ .

$a(hm)$ : Corrección por  $hm$ .

La altura efectiva de la antena transmisora es la altura del centro de radiación de la antena sobre el nivel medio evaluado entre dos distancias referidas  $d_1$  y  $d_2$ , como se indica a continuación.

Si  $d$  es la distancia de cobertura se tiene:

$$d_1 = d/4 \quad d_2 = d \quad 1 \text{ km} < d < 8 \text{ km}$$

$$d_1 = 3 \quad d_2 = d \quad 8 \text{ km} < d \leq 15 \text{ km}$$

$$d_1 = 3 \quad d_2 = 15 \quad d > 15 \text{ km}$$

El nivel medio del terreno es:

$$h_p = \frac{1}{d_2 - d_1} \sum_{i=1}^{i=n} c_i$$

Donde  $c_i$  son las cotas respectivas de cada punto donde se toman las muestras y  $n$  es el último punto correspondiente a  $d_2$ .

La altura efectiva de la antena es:

$$h_t = h_0 + c_0 - h_p$$

Siendo  $h_0$  la altura sobre el suelo de la antena y  $c_0$ , la cota del terreno al pie del mástil de la antena.

En medios urbanos para ciudades con poco desnivel puede tomarse  $h_t$  igual a la altura sobre el suelo  $h_0$ .

El término  $a(h_m)$  es una corrección para la altura de la antena del móvil. Para una altura  $h_m$  de 1.5 m,  $a(h_m)$  es igual a 0. Para otras alturas,  $a(h_m)$  depende del tipo de ciudad.

El error máximo cometido es para frecuencias bajas y alturas superiores a 5 m, donde puede llegar a valer 1 dB.

Si el receptor se encuentra en una zona suburbana, caracterizada por edificaciones de baja altura y calles relativamente anchas, la atenuación es:

$$L_{b_s} = L_b - 2 \left[ \log \left( \frac{f}{28} \right) \right]^2 - 5.4$$

La fórmula general de Hata es válida únicamente para frecuencias inferiores a 1500 MHz.

### **Modelo de Walfish-Ikegami (COST-231)**

Con el objetivo de mejorar las predicciones que se obtienen por otros métodos, este fue propuesto por el grupo europeo de trabajo COST-231. Combina los modelos de Walfish e Ikegami y está basado en los diferentes estudios llevados a cabo por miembros del mencionado grupo.

El método denominado COST-231-Hata, proporciona la siguiente expresión para la pérdida básica de propagación:

$$L_b = 46.3 + 33.9 \log f - 13.82 \log ht - a(hm) + (44.9 - 6.55 \log ht) \log d + cm \quad (5)$$

Donde  $cm$  es una constante cuyos valores son:

$$c_m = \begin{cases} 0dB \\ 3dB \end{cases}$$

La gama de variación de los parámetros es la siguiente:

$$1500 \text{ MHz} \leq f \leq 2000 \text{ MHz}$$

$$30 \text{ m} \leq ht \leq 200 \text{ m}$$

$$1 \text{ m} \leq hm \leq 10 \text{ m}$$

$$1 \text{ km} \leq d \leq 20 \text{ km}$$

Es aplicable a los siguientes entornos:

El modelo de propagación COST-231, se ha validado para frecuencias en las bandas de 900 MHz a 1800 MHz, con alturas de la estación de 1 m a 3 m, y para distancias desde 10 m hasta 3 km.

Aparecen modos de propagación no considerados en el modelo, como son: el efecto de guías de ondas que hacen las calles y la difracción en las esquinas. Asimismo, no representan los parámetros para un significado físico totalmente claro cuando se trata de microcélulas; por tanto, el error para este tipo de celdas puede ser considerable.

### **Modelo SUI <sup>[2]</sup>**

La Universidad de Stanford desarrolló hace un par de años un conjunto de modelos de canal para la simulación del fenómeno de multitrayectoria en sistemas LMDS. Estos modelos se denominan (*Stanford University Interim Models*) comúnmente abreviados *SUI models*.

El grupo de trabajo del IEEE 802.16 recomienda el uso del modelo SUI para la estimación de cobertura en sistemas Wi-Max. Aunque fue diseñado

inicialmente para una frecuencia inferior a los 3.5GHz, se ha implementado incluyendo un parámetro de corrección para la diferencia en frecuencia, como recomienda el grupo de trabajo IEEE 802.16.

El modelo SUI clasifica el terreno en tres tipos, llamados A, B y C.

- Tipo A: Experimenta las mayores pérdidas por propagación, y corresponde a terrenos montañosos con una densidad boscosa moderada o alta.
- Tipo B: Corresponde con el término medio y comprende tanto los terrenos montañosos con una densidad boscosa baja como los terrenos planos con densidad boscosa elevada o moderada.
- Tipo C: Experimenta las menores pérdidas por propagación y corresponde a zonas planas con reducida densidad de árboles.

Estas categorías de terreno proporcionan un método simple más exacto para la estimación de las pérdidas de trayecto sobre el canal de RF en condiciones de NLOS. Al ser estadística su naturaleza, el modelo puede representar una gran gama de las pérdidas de trayecto experimentadas dentro de una comunicación real en la banda de RF. Los modelos SUI fueron seleccionados para el diseño, el desarrollo y la prueba de las tecnologías Wi-Max en seis diversos panoramas, SUI-1 a SUI-6. Con el uso de estos modelos de canal es posible entonces predecir más exactamente la cobertura que se puede alcanzar con una estación base configurada de una manera determinada, lo que claramente es un apoyo a las actividades de planeación y diseño de redes Wi-Max. No obstante, existe un inconveniente práctico con los modelos SUI, y está relacionado precisamente con la clasificación de terreno para la cual aplican, pues ninguno de los seis modelos considera zonas urbanas o urbanas densas que son de hecho donde se esperan los mayores despliegues de infraestructura Wi-Max.

**Tabla 4.1: Parámetros de la Categoría del Terreno para SUI.**

PARÁMETROS DEL MODELO	CATEGORÍA DEL TERRENO		
	TIPO A (montañosa y densidad de árboles alta)	TIPO B (plana y densidad de árboles alta)	TIPO C (plana y baja densidad de árboles)
<b>a</b>	4.6	4.0	3.6
<b>b (m<sup>-1</sup>)</b>	0.0075	0.0065	0.0050
<b>c(m)</b>	12.6	17.1	20.0

En los modelos de *path loss* adoptado por el IEEE 802.16 WG, el cual da las pérdidas de trayecto según la siguiente ecuación:

$$PL = A + 10y \log_{10} \left[ \frac{d}{d_0} \right] + s$$

**Donde:**

$A = 20 \log_{10}(4 \pi d_0 / \lambda)$ , con  $\lambda$  dada en metros.

$y = (a - b \cdot h_b + c / h_b)$ ,  $y$  es el exponente de *path loss*.

$10\text{m} < h_b < 80\text{m}$ , altura de la antena de estación base.

$a$ ,  $b$  y  $c$  son constantes dependientes del tipo de terreno.

$d_0$  es una distancia de referencia escogida de 100m.

$s$  representa el efecto del ensombrecimiento o *shadowing*, para el cual se asume una distribución normal con desviación estándar entre 8 y 10 dB.

#### 4.2. Análisis matemático.

El método SUI han sido recomendados por el grupo de trabajo IEEE 802.16, los métodos de Okumura-Hata y COST 231-Hata también se han

considerado, aunque su uso para la planificación de redes basadas en tecnología Wi-Max debe realizarse con ciertas reservas. Esta restricción se debe a que la frecuencia para la cual fue desarrollado es inferior a las frecuencias en las que a priori funcionará la tecnología Wi-Max mientras que el modelo SUI afirma que podría desempeñarse adecuadamente en el rango de 2 a 4 GHz, el cual incluye la banda de 3,5 GHz que han sido asignada como banda licenciada para la operación comercial de Wi-Max.

Es de gran importancia la selección del modelo de pérdidas de trayecto a la hora de simular sistemas Wi-Max y realizar las labores de diseño de la red, pues algunos son más optimistas que otros, y no todos aplican igual en las mismas condiciones topográficas.

Analizando los modelos de propagación se escogió el modelo SUI tipo B ya que se acerca más a las necesidades y las condiciones del lugar de Petroproducción ya que la topología del terreno es plana y con alta densidad boscosa.

Se va a realizar los análisis matemáticos primeramente obteniendo los datos según nuestro tipo de terreno.

SUI Tipo B:

Datos de Tabla.

**Tabla 4.2: Parámetros de la Categoría del Terreno tipo B para SUI.**

PARÁMETROS DEL MODELO	CATEGORIA DEL TERRENO
	TIPO B (plana y densidad de árboles alta)
a	4.0
b (m <sup>-1</sup> )	0.0065
c(m)	17.1

La obtención de la atenuación se realiza así:

$$A = 20 \log_{10} \left( \frac{4 * \pi * d_0}{\lambda} \right)$$

Donde:

$d_0 = 100\text{m}$  explicado anteriormente y es  $\lambda$  la longitud de onda en la que vamos a trabajar la cual se calcula así:

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

$$c = 3 \times 10^8 \frac{m}{s}$$

$$f = 3,5 \text{GHz.}$$

$$\lambda = \frac{3 \times 10^8}{3,5 \times 10^9}$$

$$\lambda = 8,57 \times 10^{-2} \text{m.}$$

En la cual  $c$  es la velocidad de la luz y  $f$  es la frecuencia en la que vamos a trabajar y es de 3,5 GHz permitida para WI-MAX.

De tal forma obtenemos:

$$A = 20 \log_{10} \left( \frac{4 * \pi * 100}{8,57 \times 10^{-2}} \right)$$

$$A = 23,57 \text{dB.}$$

Uniendo las ecuaciones, obtenemos:

$$PL = A + 10 * \left( a - b * hb + \frac{c}{hb} \right) * \log_{10} \left( \frac{d}{d_0} \right) + s$$

Donde  $d$  es la distancia que va a cubrir en metros y  $s$  para la categoría de terreno tipo B es 9 dB.

$$PL = 23,57 + 10 * \left( 4,0 - 0,0065 * 80 + \frac{17,1}{80} \right) * \log_{10} \left( \frac{4000}{100} \right) + 9$$

$$PL = 23,57 + 36,9375 * 1,602 + 9$$

$$PL = 91,75dB.$$

### 4.3. Simulación de Zonas de cobertura mediante la herramienta de simulación SIRENET disponible en el DEEE.

La ESPE en su Departamento de Eléctrica y Electrónica posee la herramienta de simulación SIRENET la cual nos permite realizar nuestro análisis de cobertura.

SIRENET no posee en su listado de modelos de propagación el modelo SUI, el cual fue elegido para realizar la cobertura según la topología del terreno y su rango de frecuencia de operación.

Por tal motivo se realizó la adhesión de este modelo de propagación en el SIRENET.

Para adherir el modelo de propagación, SIRENET nos permite realizarlo poniendo las variables de la siguiente forma:

**Tabla 4.3: Parámetros que permite SIRENET.**

VARIABLES	UNIDADES PERMITIDAS SIRENET	SÍMBOLO
Frecuencia	Mega Hercios	f
Distancia	Kilómetros	d
Altura Transmisor	Metros	htx

Por lo cual vamos a encontrar la ecuación para agregar el modelo SUI al listado del SIRENET.

$$A = 20 \log_{10} \left( \frac{4 * \pi * d_0}{\lambda} \right)$$

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

$$A = 20 \log_{10} \left( \frac{4 * \pi * d_0 * f}{c} \right)$$

$$f(\text{MHz}) = f(\text{Hz}) * 10^6$$

$$A = 20 \log_{10} \left( \frac{4 * \pi * 100 * 10^6}{3 * 10^8} \right) + 20 \log_{10} f(\text{MHz})$$

$$PL = A + 10 * \left( a - b * hb + \frac{c}{hb} \right) * \log_{10} \left( \frac{d(m)}{d_0} \right) + s$$

$$d_0 = 100m$$

$$PL = A + 10 * \left( a - b * hb + \frac{c}{hb} \right) * \log_{10} \left( \frac{d * 1000}{100} \right) + s$$

$$PL = A + 10 * \left( a - b * hb + \frac{c}{hb} \right) * \log_{10} \left( \frac{d * 10}{1} \right) + s$$

$$PL = A + 10 * \left( a - b * hb + \frac{c}{hb} \right) * \log_{10} d + 1 + s$$

$$PL = A + 10 * a * \log_{10} d(Km) + 10 * a - 10 * b * hb * \log_{10} d(Km) - 10 * b * hb + 10 * \frac{c}{hb} * \log_{10} d(Km) + 10 * \frac{c}{hb} + s$$

Con los valores SUI tipo B mostrados en la Tabla 4.2 se tiene:

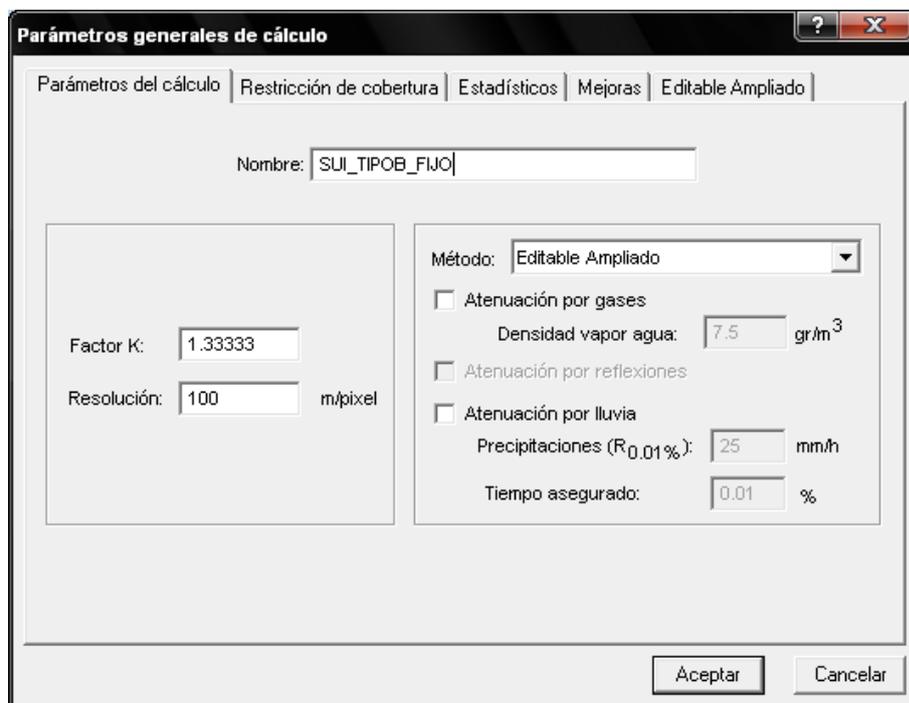
$$PL = 20 * \log_{10} \left( \frac{4 * \pi * 100 * 10^6}{3 * 10^8} \right) + 20 * \log_{10} f(\text{MHz}) + 10 * 4 * \log_{10} d(Km) + 10 * 4 - 10 * 0,0065 * hb * \log_{10} d(Km) - 10 * 0,0065 * hb + 10 * \frac{17,1}{hb} * \log_{10} d(Km) + 10 * \frac{17,1}{hb} + 9$$

$$PL = 12,44 + 20 \log_{10} f(\text{MHz}) + 40 * \log_{10} d(Km) + 40 - 0,065 * hb * \log_{10} d(Km) - 0,065 * hb + \frac{171}{hb} * \log_{10} d(Km) + \frac{171}{hb} + 9.$$

$$PL = 61,44 + 20 \log_{10} f (MHz) + 40 * \log_{10} d (Km) - 0,065 * hb(m) * \log_{10} d (Km) - 0,065 * hb(m) + \frac{171}{hb(m)} * \log_{10} d (Km) + \frac{171}{hb(m)}$$

Ya al obtener la ecuación con las variables en las unidades se procede a agregar el nuevo modelo al SIRENET de la siguiente manera:

1. Al elegir en la barra de herramientas la pestaña: cobertura – parámetros de cálculo, se observa:



**Figura. 4.1. Parámetros generales de cálculo SIRENET.**

En la cual se escribió el nombre del método que vamos a agregar y en el método se empleó *Editable Ampliado* el cual nos permite

editar de una manera ampliada la ecuación de pérdidas del modelo de propagación.

El factor K es  $K = \frac{4}{3} = 1.33333$  constante para el clima atmosférico del Ecuador.

2. Al hacer clic en la pestaña *Editable Ampliado* se muestra :

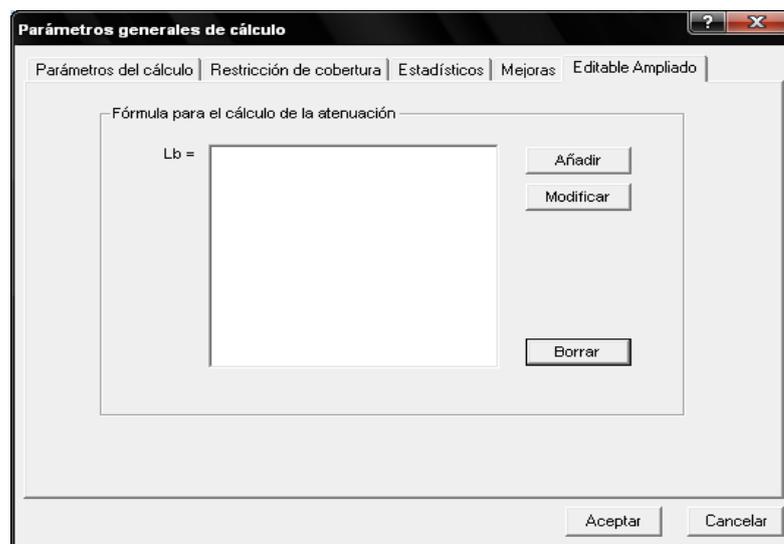


Figura. 4.2. Editable de Parámetros generales de cálculo SIRENET.

Donde al realizar un clic en *Añadir* y se va realizando la ecuación de la siguiente forma:



Figura. 4.3.a.

Figura. 4.3.b.

Figura. 4.3. Edición de Parámetros de cálculo en SIRENET.

Como se puede observar en los ejemplos la frecuencia se da en Megahercios (MHz) y la distancia en kilómetros (Km).

- Al completar la adhesión de los términos de la ecuación en el SIRENET se van a quedar guardado así:

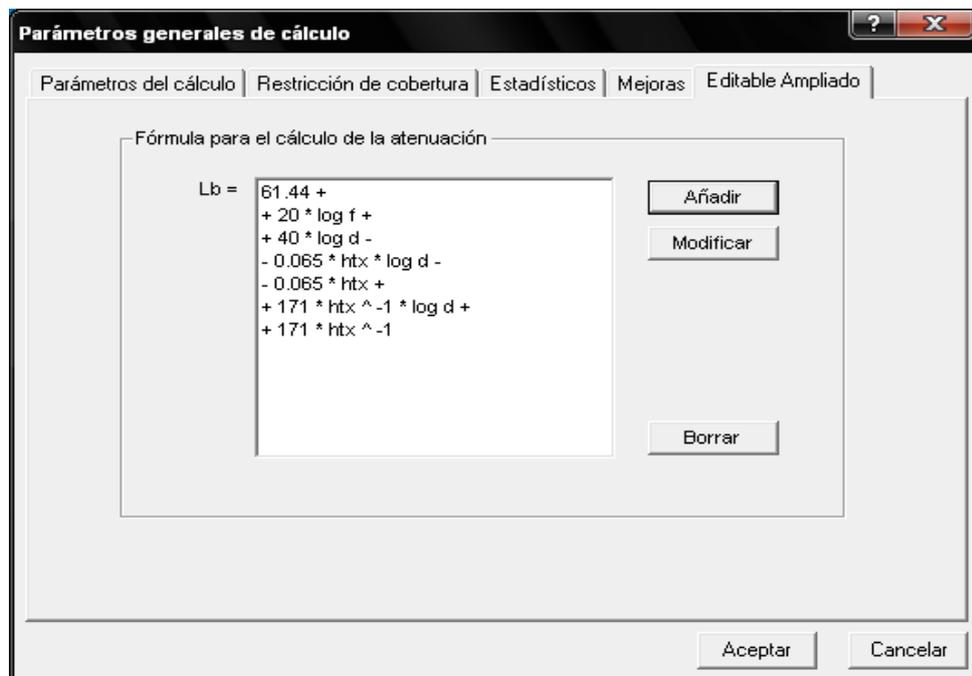
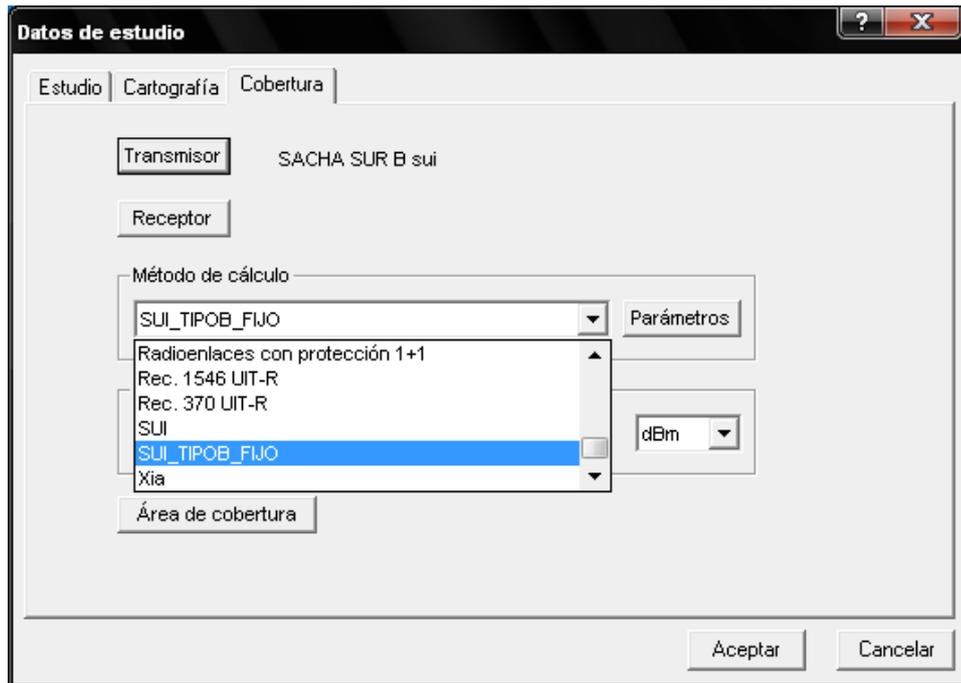


Figura. 4.4. Parámetros de cálculo en SIRENET añadidos.

4. Se quedó guardado en los *datos de estudio*, factible para calcular por medio de este método SUI con Wi-Max fijo y tipo de terreno con categoría B, para que pueda ser usado en cualquier estudio o proyecto en el SIRENET.



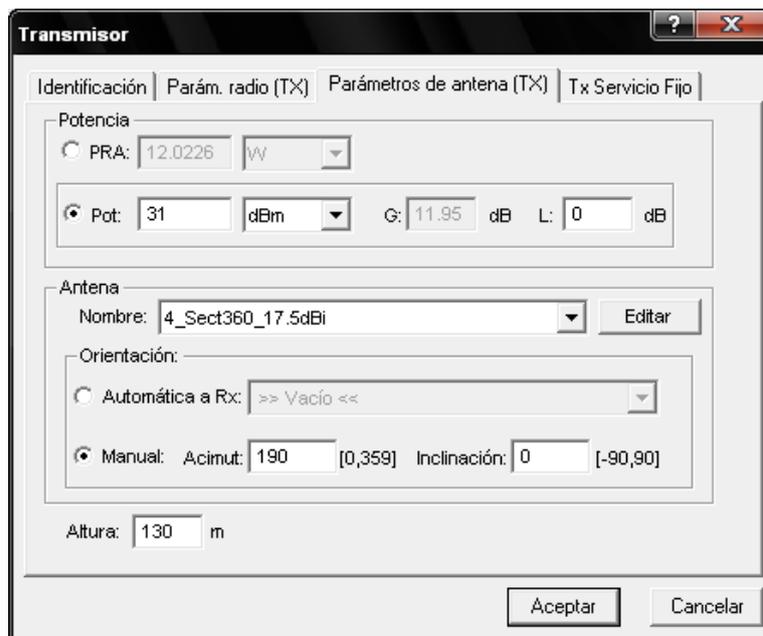
**Figura. 4.5. Existencia del Modelo SUI editado en SIRENET.**

El tipo de estudio que se realizó es de cobertura para un servicio fijo inalámbrico de Wi-Max.



**Figura. 4.6. Servicio Wi-Max en SIRENET.**

Para realizar la simulación se investigó a los proveedores de equipos Wi-Max en donde se eligió los datos para la transmisión los siguientes:  
Las antenas tienen una ganancia de 17,5dBi y la altura de la torre de 130 m.



**Figura. 4.7. Parámetros del Transmisor en SIRENET.**

Estas antenas son cuatro en cada estación con un ancho del glóbulo de 90° (grados) cubriendo en totalidad los 360°.

Se eligió un Acimut para que el lóbulo principal abarque en su totalidad las subestaciones; desde Sacha Central cubra las estaciones Sacha Sur y Sacha Norte 1.

Así mismo los receptores se les programo para que tengan una potencia umbral de -83 dBm según las especificaciones de los equipos.

**Receptor de cobertura**

Parámetros de radio (RX) | Rx Servicio Fijo | Parámetros de antena

Servicio: ..Fijo\Terrestre\Acceso (WLL)\WIMAX [Editar]

Fase: >> Vacío << [Editar]

Red: >> Vacío << [Editar]

Polarización: Horizontal

Frecuencia

Banda: >> Vacío << [Editar]

F. Referencia: 3540 MHz [Editar]    Canales: 0 [Editar]

Nº Canal: [ ]

Potencia Umbral: -83 dBm

Impedancia: 50 Ohmios    Pérdidas: 0 dB    C/N: 0.00 dB

[Aceptar] [Cancelar]

Figura. 4.8. Parámetros del Receptor en SIRENET.

La frecuencia a usarse es la de la banda de 3,5 GHz estipulada para Wi-Max en el espectro radioeléctrico.

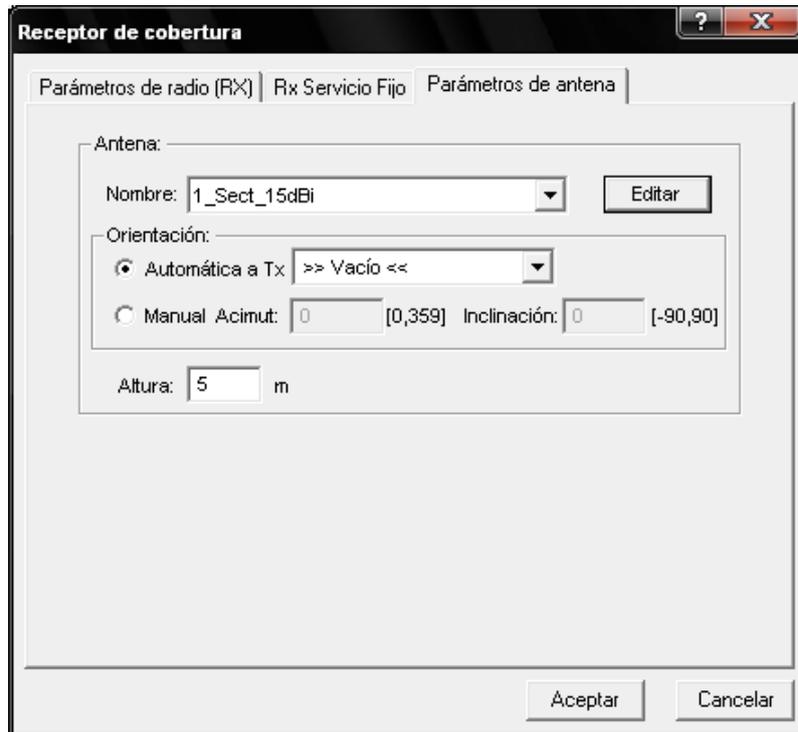


Figura. 4.9. Parámetros de la Antena del Receptor en SIRENET.

Al realizar la simulación en el SIRENET se obtuvo:

▼ Transmisor	
Nombre	: SACHA CENTRAL
Coordenadas	: Lon: 76 52 30.430W Lat: 0 19 43.600S
Cota	: 276 m
Alt. antena	: 130.0 m
Polariz.	: Horizontal
Antena	: 4_Sect_360_17.5dBi
Frecuencia	: 3540 MHz
PRA	: 43.151906 W
Servicio	: WiMAX
Velocidad	: 16 Mbps
Modulación	: 16-QAM
MTBF	: 62500 h
MTTR	: 5 h

Figura. 4.10.a.

▼ Cobertura	
Mét. Est.	: Editable Ampliado
Factor K	: 1.33333
Coordenadas	: NO X:952513.00 m NO Y:-31155.00 m
Coordenadas	: SE X:965719.00 m SE Y:-41889.00 m
Dimensiones	: 17238.00x14373.00 m
A. antena Rx	: 5.00 m
Resolución	: 100.000 m
Magnitud	: Potencia (dBm)
Fecha	: 23/04/2008 (10:45:27)

Figura. 4.10.b.

Figura. 4.10. Datos obtenidos en la simulación en el SIRENET.

Donde brinda todos los parámetros con los que se realizó la simulación.

El rango de Potencia se visualiza según los colores en el siguiente rango:

▼ Rango de Potencia	
■	$P < -83\text{dBm}$
■	$-83\text{dBm} \leq P < -73\text{dBm}$
■	$-73\text{dBm} \leq P < -63\text{dBm}$
■	$-63\text{dBm} \leq P$

Figura. 4.11. Rango de Potencia en la Simulación en el SIRENET.

Al realizar la simulación se puede observar con el SIRENET las diferentes áreas de cobertura y las zonas de potencia:

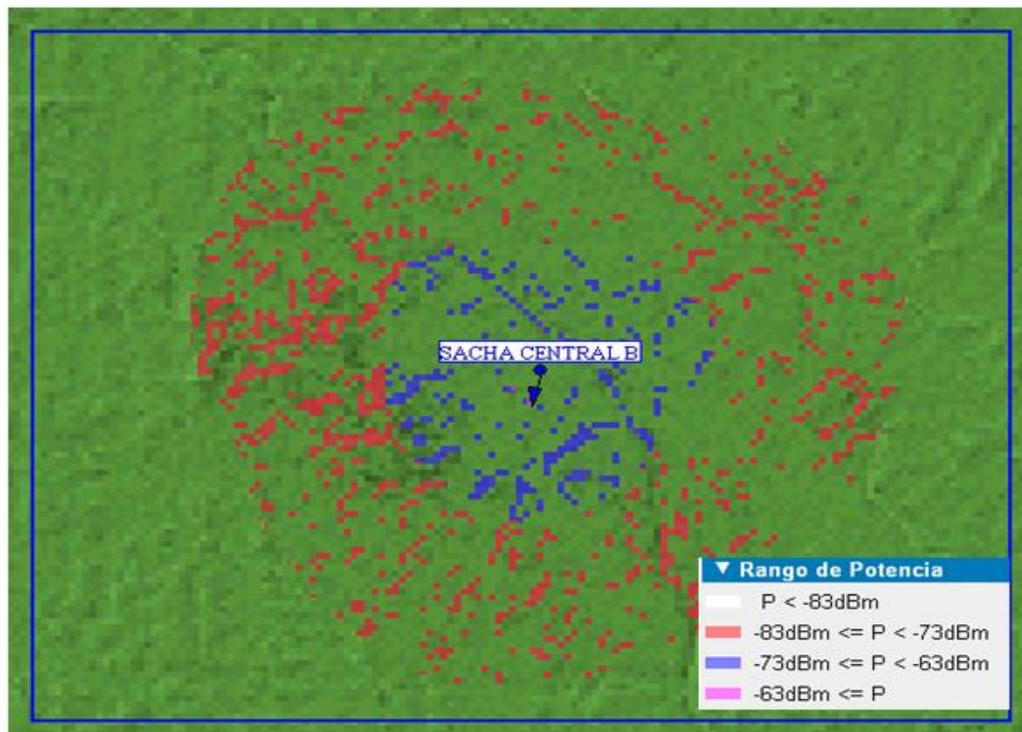
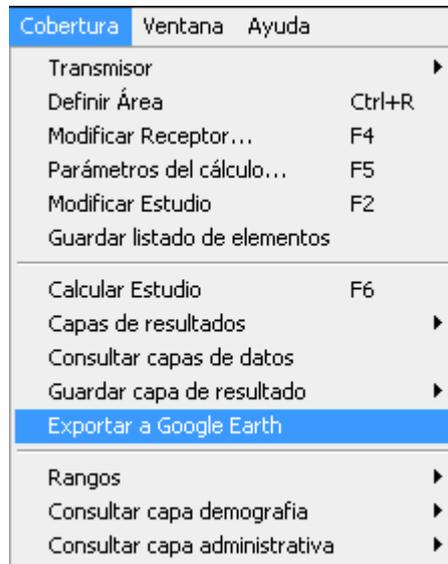


Figura. 4.12. Cobertura en Simulación en el SIRENET.

Existe una aplicación en el SIRENET el cual nos permite visualizar de una mejor manera exportando la simulación realizada a la herramienta Google Earth.



**Figura. 4.13. Exportación a Google Earth.**

La figura muestra la cobertura que nos ofrece el Google Earth donde podemos visualizar que su cobertura llega desde la Estación Sacha Central hasta las subestaciones Sacha Norte 1 y Sacha Sur quedando sin cobertura la Estación de Sacha Norte 2.

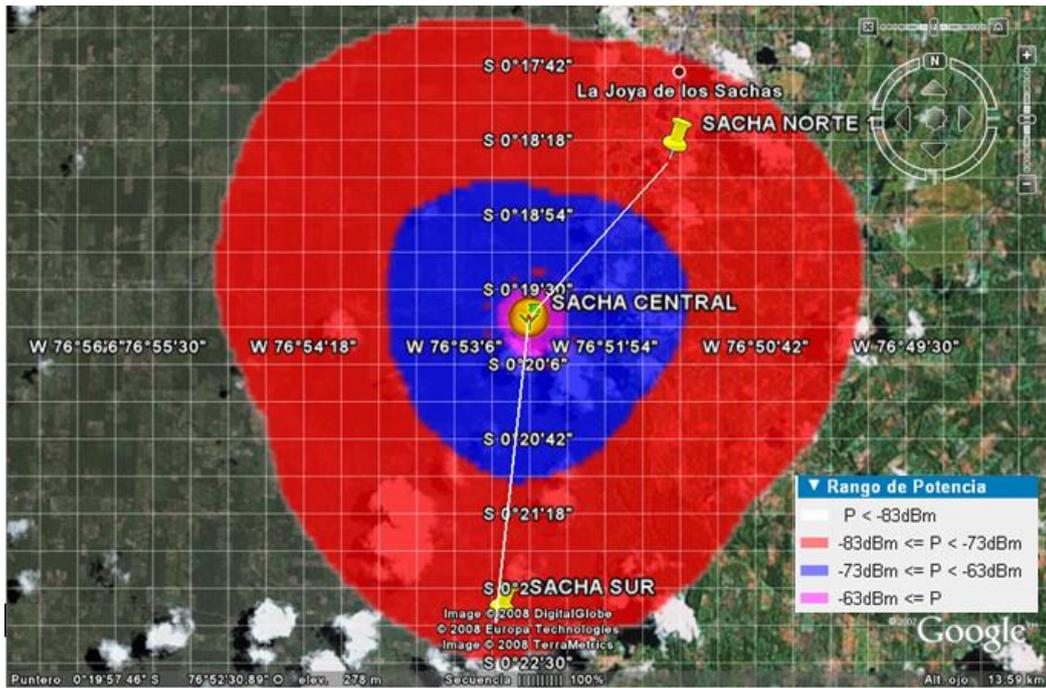


Figura. 4.14. Cobertura Exportada al Google Earth.

Se realizó la misma simulación con la banda licenciada para Wi-Max de 3,5 GHz pero con los equipos existentes para esa frecuencia que de 21dBm de transmisión con una antena de 15dBi y una recepción de -83dBm.

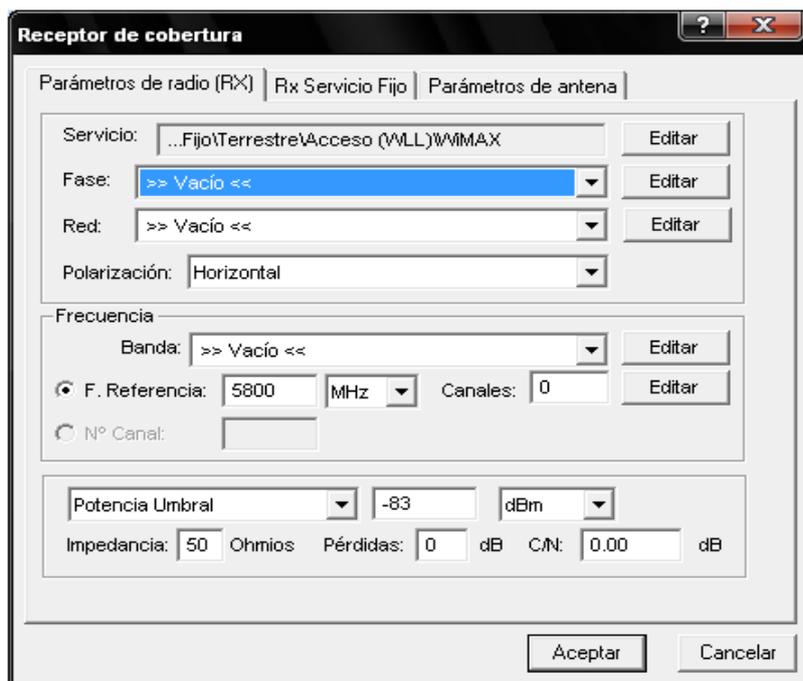


Figura. 4.15. Parámetros Receptor en la banda de 5 GHz.

Se comparo las dos coberturas en el Google Earth y se pudo observar que la diferencia no es muy significativa ya que en la banda de 5.8 GHz sus equipos tienen más potencia.

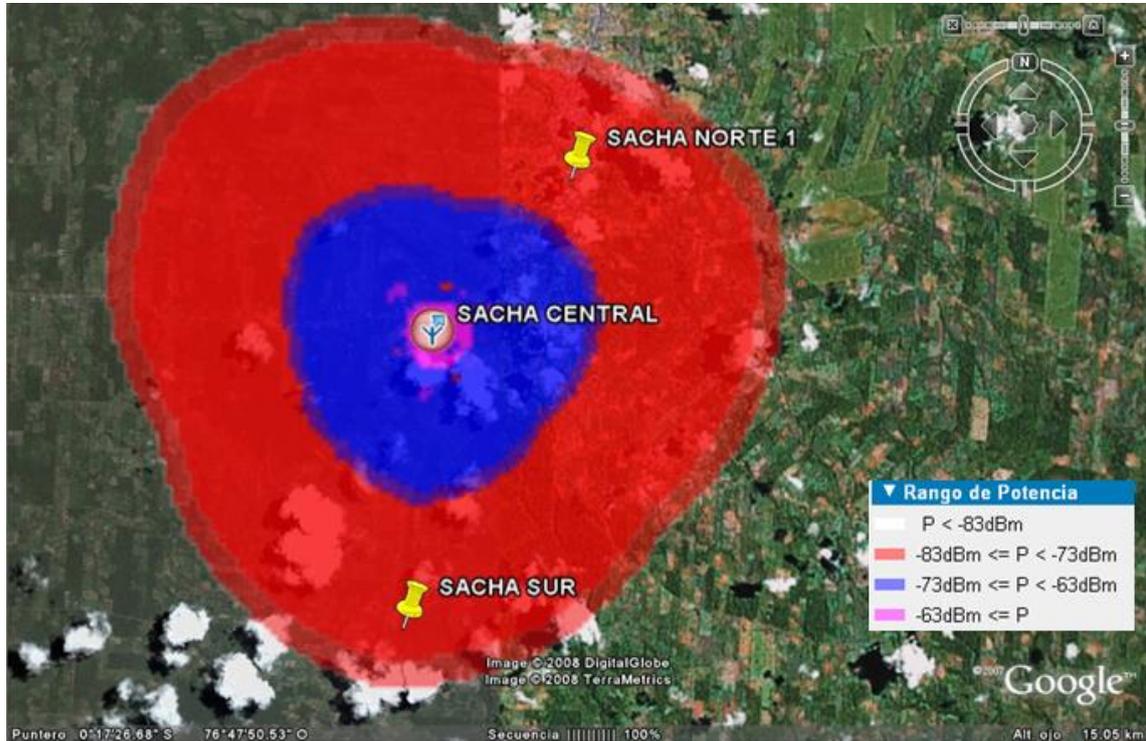


Figura. 4.16. Cobertura comparada entre 3 GHz y 5 GHz en Google Earth.

Se realizó el cálculo con el modelo de propagación COST-231 que se encuentra en el SIRENET para lugares densos en donde se obtuvo la siguiente simulación para poder compararle con el modelo SUI.

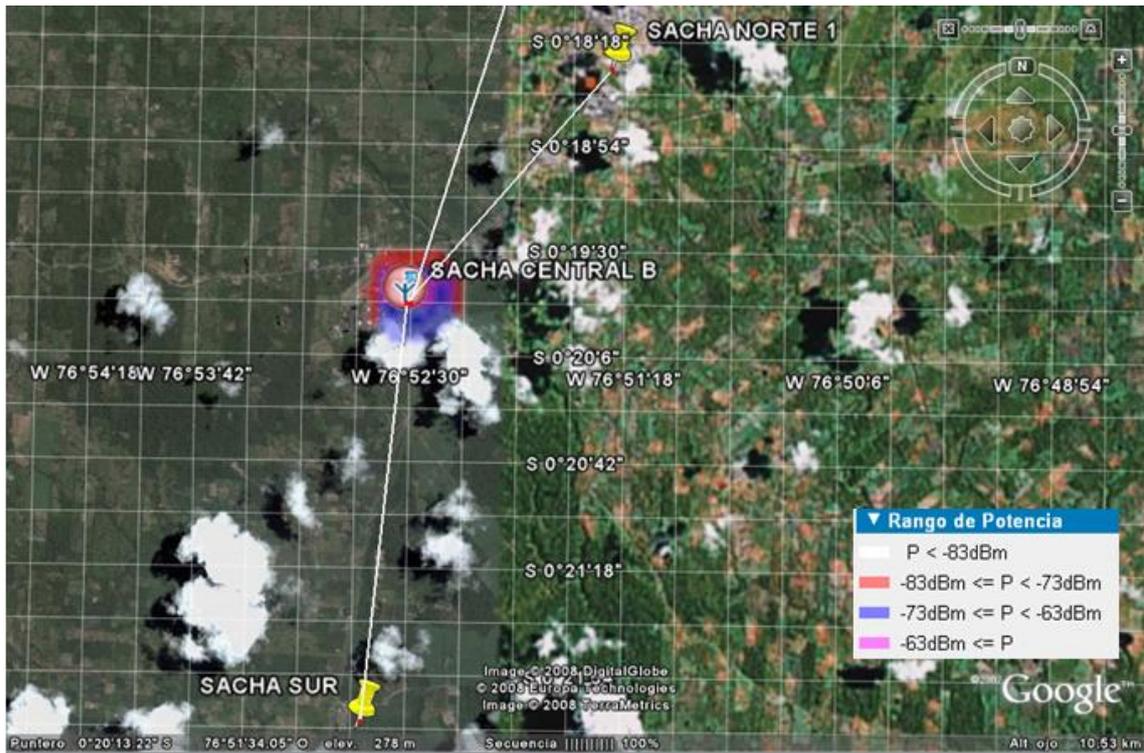
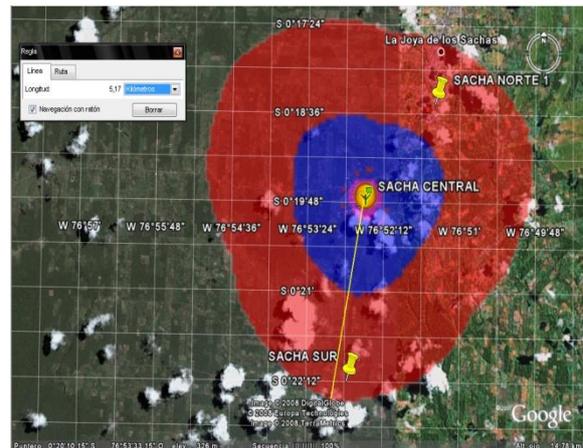
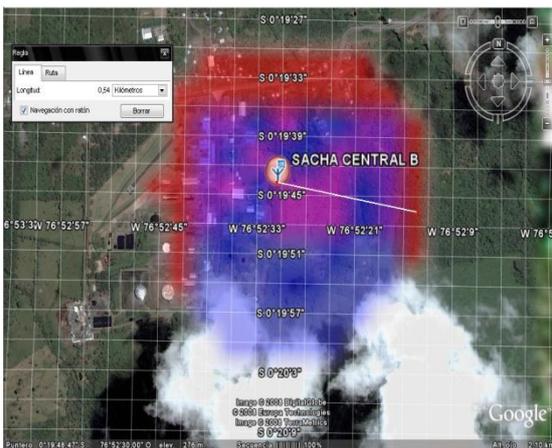


Figura. 4.17. Cobertura mediante el modelo de propagación COST-231 en Google Earth.

Dándonos la justificación necesaria del porque el haber utilizado el modelo de propagación SUI y su eficiencia, ya que con COST-231 su cobertura no llega a la estación Sacha Norte 1 que es la más cercana.



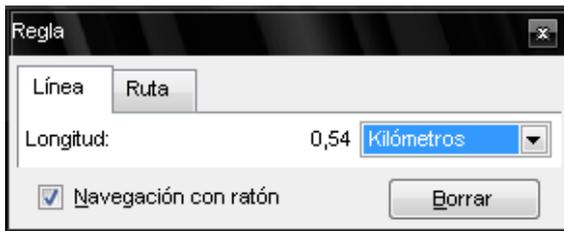


Figura. 4.18.a. Modelo COST-231

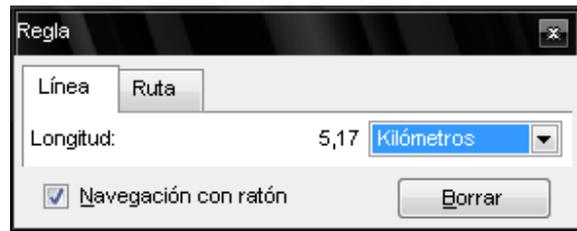


Figura. 4.18.b. Modelo SUI

Figura. 4.18. Comparación de cobertura entre los modelos COST-231 y SUI.

Con el modelo de propagación SUI se obtiene casi 10 veces mayor cobertura que con el modelo COST-231.

Después de saber que la mejor opción es el modelo de propagación SUI se vio la posibilidad de que pueda existir roaming entre Sacha Norte 2 y las demás estaciones, realizando cobertura Wi-Max desde la torre de la estación Sacha Norte.

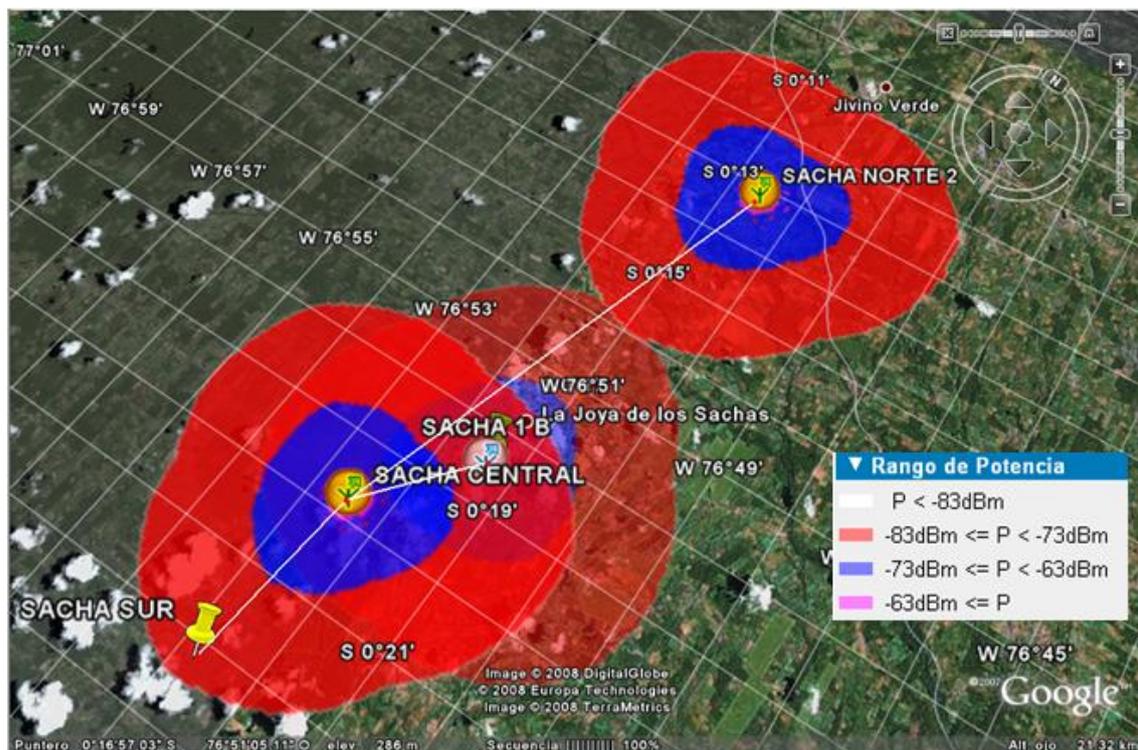


Figura. 4.19. Cobertura de Roaming.

No existió el solapamiento necesario para que se pueda realizar roaming por lo cual para obtener cobertura en la estación Sacha Norte 2 debemos realizar otra transmisión Wi-Max desde su torre y se va a unir a la red mediante el enlace que actualmente se encuentra activa con Sacha Central.

La simulación que nos brinda SIRENET con la exportación a Google Earth queda realizada el diseño de la siguiente manera:

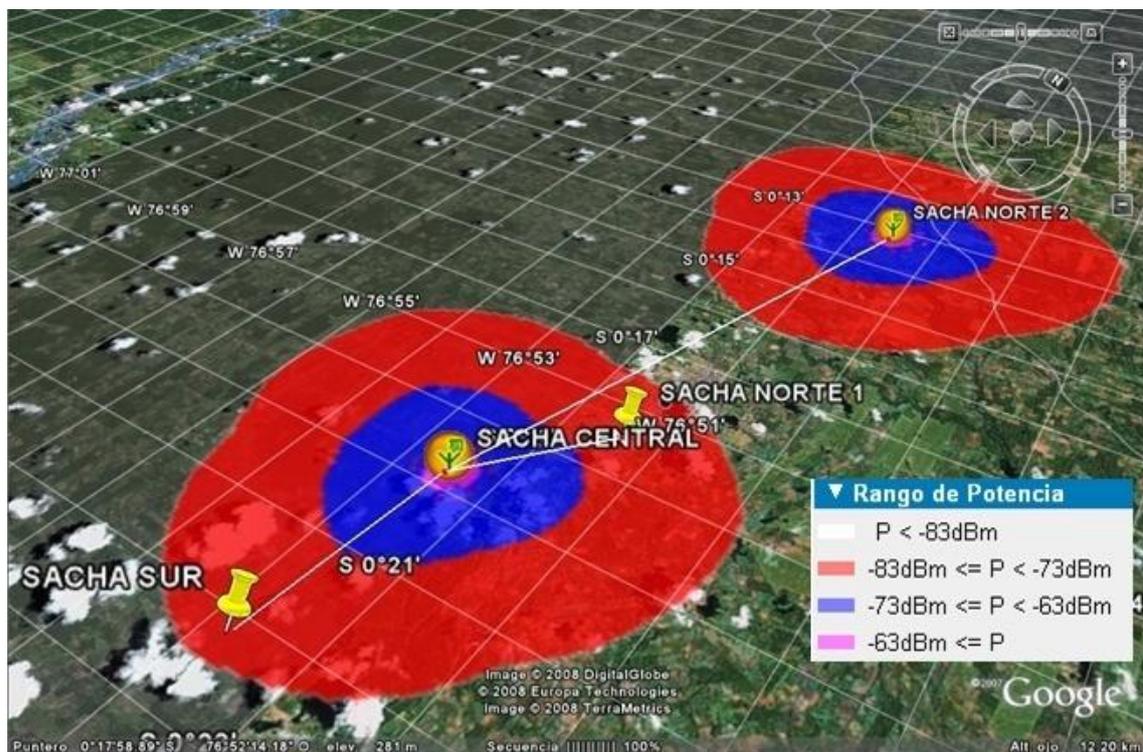


Figura. 4.20. Simulación de las zonas de Cobertura.

## BIBLIOGRAFÍA CAPÍTULO IV

[1] Torres, Nestor, Estrategia para desarrollo de herramientas informáticas para diseñar, analizar y simular sistemas móviles de 3G y 4G, [www.cujae.edu.cu/eventos/cittel/trabajos/Trabajos/Comision%203/CITTEL-47.pdf](http://www.cujae.edu.cu/eventos/cittel/trabajos/Trabajos/Comision%203/CITTEL-47.pdf), 11/06/2008.

[2] Galvis, Alexánder, Modelos de canal inalámbricos y su aplicación al diseño de redes WiMAX, [http://dspace.icesi.edu.co/dspace/bitstream/item/1006/1/modelos\\_canal\\_inalmabrico\\_wimax.PDF](http://dspace.icesi.edu.co/dspace/bitstream/item/1006/1/modelos_canal_inalmabrico_wimax.PDF), 30/08/2006, 14/06/2008.

## CAPITULO V

### DISEÑO

#### 5.1. Diseño de la Red

Teniendo en cuenta como punto principal la estación Sacha Central que es el punto de mayor importancia y densidad de usuarios, con su diseño de Wi-Max punto–multipunto que abarca las estaciones Sacha Norte 1 y Sacha Sur.

La estación Sacha Central se va a unir con la estación Sacha Norte 2 por medio del enlace existente explicado en el capítulo 3, en donde también va a existir cobertura Wi-Max. La topología del diseño es como se puede ver en la siguiente figura:



Figura. 5.1. Diseño de la Red.

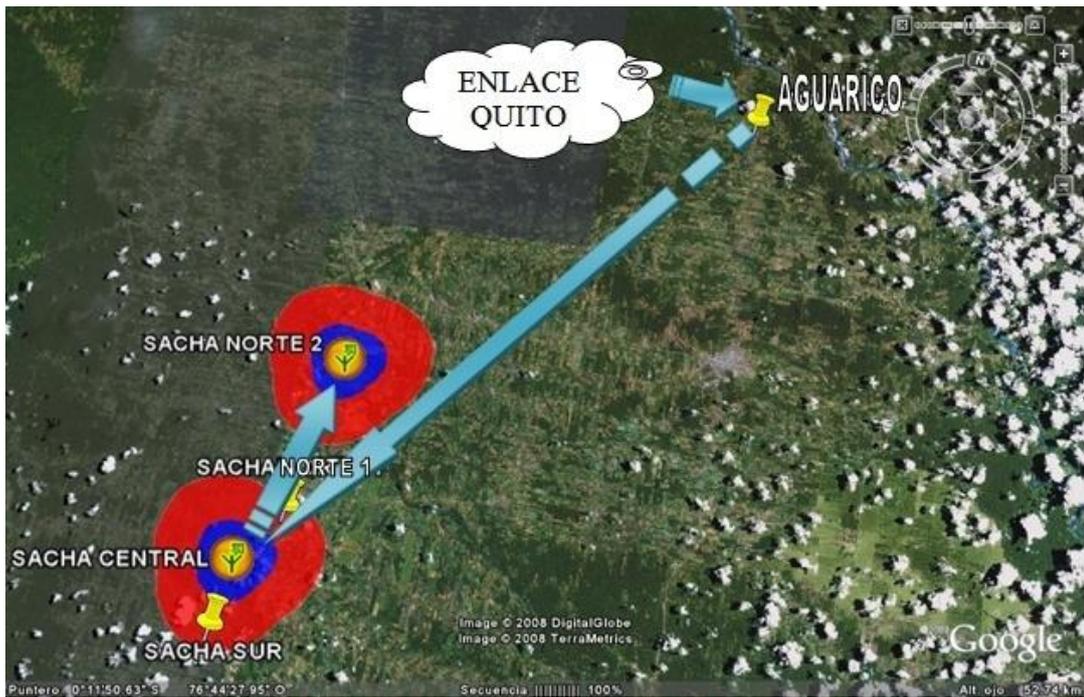


Figura. 5.2. Diseño de la Red vista superior.

### 5.1.1. Sugerencia de equipos.



Figura 5.3. Diagrama de colocación de equipos Wi-Max

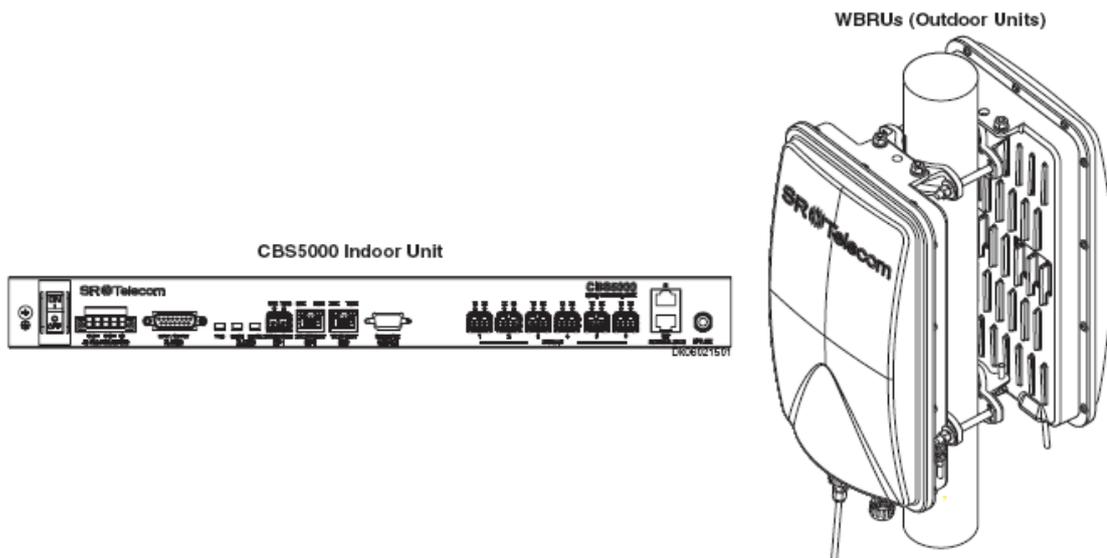
En la figura se encuentra el diagrama con la posición de los equipos y las aplicaciones típicas que puede existir.

1. Estación Base Wi-Max CBS5000.
2. Antena de estación base Wi-Max.
3. CPE's Wi-Max SSU5200.

- **ESTACIÓN BASE Wi-Max:**

**CBS5000 Wi-Max Base Station** <sup>[1]</sup>

**(SymmetryMX)**



SymmetryMX es la solución de opción para los portadores que preven el suministro de una más amplia gama de voz y datos de banda ancha, VoIP, la Internet de alta velocidad, IP VPN, videoconferencias con alta eficiencia en voz, datos y video.

La tecnología SymmetryMX incluye en sus especificaciones la antena y su ganancia.

➤ ESPECIFICACIONES:

- ✓ Estándar IEEE802.16- 2004.
- ✓ Escalable hacia IEEE802.16e SOFDMA.
- ✓ Bandas de Operación:
  - 2.5 GHz TDD (2500 - 2695 MHz).
  - 3.5 GHz TDD (3300 - 3800 MHz).
  - 3.5 GHz FDD (3300 - 3800 MHz).
  - 10.5 GHz FDD (10.15 GHz - 10.65 GHz).
  
- ✓ Ancho de Banda del Canal:
  - 2.5 GHz TDD – (3.5, 5.0, 7.0 MHz).
  - 3.5 GHz TDD – (3.5, 5.0, 7.0 MHz).
  - 3.5 GHz FDD – (1.75, 3.5, 7.0 MHz).
  - 10.5 GHz FDD – (3.5, 7.0 MHz).
  
- ✓ Modo de Duplexación: FDD – TDD.
- ✓ Modulación de las subportadoras adaptativas:
  - 64 QAM (3/4, 2/3).
  - 16 QAM (3/4, 1/2).
  - QPSK (3/4, 1/2).
  - BPSK (1/2).
  
- ✓ Potencia de Transmisión: 31 dBm.
- ✓ Antena Sectorial con polarización vertical o inclinación de +/- 45°.
- ✓ Ganancia de la antena: 17,5 dBi.
- ✓ Sub-canalización de 2, 4, 8, and 16 canales con control automático de potencia (ATPC).
- ✓ Adaptive modulation (64QAM, 16QAM, QPSK, BPSK) .
- ✓ FEC (Forward Error Correction): Reed-Solomon and Convolutional Coding .
- ✓ Diversidad de polarización para funcionamiento óptimo NLOS .
- ✓ Diversidad de Rx usando MRC (Maximum Ratio Combining) .
- ✓ Diversidad de Tx usando STC (Alamouti coding) .

- ✓ ARQ (Automatic Repeat reQuest) .
- ✓ Uplink APC (Automatic Power Control) .
- ✓ VLAN con soporte: IEEE 802.1Q segmentación de red y trunking.; 802.1D (802.1p) priorización; Q-in-Q (future)
- ✓ Extensive packet classification and filters for Layers 2, 3 and 4
- ✓ Supresión de carga útil.
- ✓ Control de Admisión de Ancho de Banda Dinámico.
- ✓ Flexible QoS con soporte para UGS, rtPS, nrtPS y Best Effort .

- **CPE's Wi-Max:**

**SSU5200** <sup>[2]</sup>



➤ **ESPECIFICACIONES:**

- ✓ Estandar IEEE 802.16-2004.
- ✓ Rango de Frecuencias:
  - 2.5 GHz [2500MHz – 2695MHz].
  - 3.5 GHz [3300 – 3800 MHz].
  - 10.5 GHz [10.150 – 10.650 GHz].
- ✓ Ancho de Banda del Canal:
  - 2.5 GHz: 3.5, 5.0, 7.0 MHz TDD.
  - 3.5 GHz: 1.75, 3.5, 7.0 MHz H-FDD.
  - 3.5 GHz: 3.5, 5.0, 7.0 MHz TDD.
- ✓ Duplexación H-FDD; TDD.
- ✓ OFDM (256 FFT).
- ✓ Modulación adaptativa:

- 64-QAM 3/4, 2/3
- 16-QAM 3/4, 1/2
- QPSK 3/4, 1/2
- BPSK 1/2
- ✓ Tamaño de trama de 5, 10 ms.
- ✓ Potencia de transmisión: 22 dBm.
- ✓ Antena integrada con ganancia de: 15 dBi.
- ✓ Puerto externo tipo N para la opción de antenas de más alta ganancia.
- ✓ Sensibilidad de Recepción: 1.75MHz: -100dBm (BPSK 1/2) a -83 dBm (64 QAM 3/4).
- ✓ Prefijo Ciclico: 1/4, 1/8, 1/16, 1/32.
- ✓ Smart antenna system / STC alamouti coding and maximum ratio
- ✓ RF path diversity combining MRC
- ✓ Código de Canal Reed-salomon y código convolucional;
- ✓ ATPC (automatic power control) Uplink.
- ✓ Subcanalización: 2, 4, 8 and 16 sub-canales.
- ✓ DL:UL (TDD) configurable.

### 5.1.2. Sistema de Comunicaciones.

Para realizar los sistemas de comunicaciones debemos de entender los parámetros que influyen en la variación de las tasas de transmisión.

- **TASAS DE TRANSMISIÓN** <sup>[3]</sup>

Debido a la flexibilidad del nivel físico, la tasa de transmisión varía dependiendo de los parámetros operativos.

Los parámetros más significativos son:

- Ancho de banda del canal.
- Esquema de modulación y codificación utilizados

Otros parámetros

- Número de sub-canales.

- Tiempo OFDM de guardia.
- Tasa de sobre-muestreo.

Tabla siguiente asume TDD con relación DL/UL de 3/1, frame de 5 ms, 12.5% de tiempo OFDM de guardia y PUSC

**Tabla 5.1. Tasa de Transmisión con relación a su modelación y código.**

Modulación y Código de Transmisión	TASA DE TRANSMISIÓN (Kbps)	
	DL	UL
BPSK, 1/2	946	326
QPSK, 1/2	1882	653
QPSK, 3/4	2822	979
16 QAM, 1/2	3763	1306
16 QAM, 3/4	5645	1958
64 QAM, 1/2	5645	1958
64 QAM, 2/3	7526	2611
64 QAM, 3/4	8467	2938
64 QAM, 5/6	9408	3264
Ancho del Canal	3,5 MHz.	
Modo PHY	256 OFDM	
Oversampling	8/7.	

En los diferentes tipos de comunicación vamos a tomar como referencia la modulación 16 QAM con código  $\frac{3}{4}$  de la Tabla 5.1.

- **Comunicación de Voz:**

Para comunicación de voz solo se va evaluar las líneas telefónicas suponiendo que el mismo número se transfieran por comunicación Wi-Max en el futuro, tomando como referencia la Tablas 3.4 y la Tabla 3.6 obtenemos.

**Tabla 5.2. Líneas telefónicas para comunicación de Voz.**

Sacha	Líneas Telefónicas
Central	140
Sur	2
Norte 1	5
Norte 2	2
<b>TOTAL</b>	<b>149</b>

Vamos a suponer que no se usa ningún tipo de sistema de compresión de voz, al generalizar obtenemos un ancho de banda por canal de voz de 64 Kbps, esto quiere decir que necesitamos :

Velocidad en Voz = número de líneas x Kbps.

Velocidad en Voz = 149 x 64 Kbps.

Velocidad en Voz = 9536 Kbps.

Necesitamos dos canales de 3,5 MHz para transmitir las 149 líneas telefónicas por medio de Wi-Max al mismo tiempo.

**Tabla 5.3. CPE's para comunicación de Voz.**

Sacha	Líneas Telefónicas	CPE's
Central	140	8
Sur	2	1
Norte 1	5	1
Norte 2	2	1
<b>TOTAL</b>	<b>149</b>	<b>11</b>

La Tabla 5.3 indica que se necesita 11 CPE's para la comunicación de Voz.

- **Comunicación de Datos:**

Existen dos comunicaciones importantes para los campos de Sacha que son de internet y se desea implementar el sistema SCADA y vamos a colocar datos que se podría tener en un futuro para que el sistema de comunicación de datos no tenga debilidades si se desea expandir.

Para las velocidades de internet se las va a realizar con 54 Kbps en cada punto.

**Tabla 5.4. Velocidad para comunicación en internet.**

Sacha	Internet	Kbps
Central	31	1674
Sur	1	54
Norte 1	1	54
Norte 2	1	54
<b>TOTAL</b>	<b>34</b>	<b>1836</b>

Para las velocidades del sistema SCADA se las va a realizar con 10 Kbps en cada punto, que es suficiente para su transmisión.

**Tabla 5.5. Velocidad para comunicación SCADA.**

Sacha	SCADA	Kbps
Central	30	300
Sur	30	300
Norte 1	30	300
Norte 2	30	300
<b>TOTAL</b>	<b>120</b>	<b>1200</b>

Como muestras la Tabla 5.4 y la Tabla 5.5 se necesita una velocidad de:

Velocidad en Datos: Internet + SCADA.

Velocidad en Datos: 1836 Kbps + 1200 Kbps.

Velocidad en Datos: 3036 Kbps.

Esto nos indica que necesitamos solo un canal de 3,6 MHz para comunicación de datos.

**Tabla 5.6. CPE's para comunicación de Datos.**

Sacha	Comunicación de Datos	CPE's
Central	61	35
Sur	31	31
Norte 1	31	31
Norte 2	31	31
<b>TOTAL</b>	<b>154</b>	<b>128</b>

Colocamos un CPE's para cada sistema SCADA ya que estos podrían estar alejados entre si y no hubiera forma de juntarles en un CPE. En la comunicación de internet vamos a colocar en un CPE a 7 puntos lo que hace que en Sacha Central exista 5 CPE's para internet a parte de los 30 CPE's para SCADA.

- **Comunicación de Video:**

Para poder tener video a tiempo real es más que suficiente 512 Kbps, aun menos con algunos modelos de compresión, por lo cual para poder saber el ancho de banda necesario para video se debe conocer cuántos puntos para video necesito los cuales puedo ver en la Tabla 3.5 y la Tabla 3.7

**Tabla 5.7. Velocidad para comunicación de video.**

Sacha	Cámaras de Vigilancia	Kbps
Central	20	10240
Sur	3	1536
Norte 1	3	1536
Norte 2	2	1024
<b>TOTAL</b>	<b>28</b>	<b>14336</b>

La Tabla 5.7 nos muestra que se necesita 14336 Kbps para transmitir todo el video necesario, esto equivale a 3 canales de 3,6 MHz para la transmisión.

**Tabla 5.8. CPE's para comunicación de video.**

Sacha	Camaras de Vigilancia	CPE's
Central	20	20
Sur	3	3
Norte 1	3	3
Norte 2	2	2
<b>TOTAL</b>	<b>28</b>	<b>28</b>

Englobando todas las comunicaciones en los campos de Sacha de Petroproducción podemos visualizarla así:

**Tabla 5.9. CPE's y Canales para las comunicaciones.**

Comunicación	Canales de 3,6 MHz	CPE's
Voz	2	11
Datos	1	128
Video	3	28
<b>TOTAL</b>	<b>6</b>	<b>167</b>

---

La Tabla 5,9 nos muestra el número de CPE's necesarios y los canales que se debe de poseer, los canales se encuentran referidos con las características de la Tabla 5.1 y como referencia la modulación 16 QAM con código  $\frac{3}{4}$ .

## BIBLIOGRAFÍA CAPÍTULO V

[1] CBS5000 Compact Base Station, [www.srtelecom.com/en/products/symmetry/CBS5000.html](http://www.srtelecom.com/en/products/symmetry/CBS5000.html), 20/06/2008.

[2] SSU5200 CPE, [www.srtelecom.com/en/products/symmetry/SSU5200.html](http://www.srtelecom.com/en/products/symmetry/SSU5200.html), 21/06/2008.

[3] Carrera, Enrique, Diseño de Redes WiMax, [www.usfq.edu.ec](http://www.usfq.edu.ec), 25/06/2008.

## **CAPITULO VI**

### **ANÁLISIS REGULATORIO** <sup>[1][2][3]</sup>

#### **6.1. Análisis Regulatorio de las Telecomunicaciones.**

Las únicas instituciones que están permitidas en utilizar sistemas de comunicaciones Wi-Max hasta Agosto del 2008 son:

- Andinatel.
- Setel.
- Ecuador Telecom.

##### **6.1.1. El Plan Nacional de Frecuencias del Ecuador**

Es el documento que expresa la soberanía del Estado Ecuatoriano en materia de administración del espectro radioeléctrico utilizado en los diferentes servicios de radiocomunicaciones dentro del país y hacia su entorno internacional.

El objetivo principal del Plan Nacional de Frecuencias es el de proporcionar las bases para un proceso eficaz de gestión del espectro radioeléctrico y asegurar una utilización óptima del mismo; así como, la prevención de interferencias perjudiciales entre los distintos servicios.

#### **Servicios:**

- Telefonía fija inalámbrica.
- Telecomunicaciones móviles terrestres y vía satélite.
- Servicios integrados que vendrán con los Servicios de Comunicación Personal.

- Sistemas Móviles Internacionales de Telecomunicaciones (IMT-2000),
- Sistemas troncalizados.
- Servicios según el concepto de última milla, espectro ensanchado, etc.

**Alcance:**

- Atribución de bandas y subbandas a los servicios.
- Servicios específicos.
- Adjudicaciones y reserva de frecuencias para usos específicos.
- Calendarios de ocupación y migración de bandas.
- Adaptabilidad a las nuevas tecnologías.

**Concesiones, Permisos Y Autorizaciones:**

- Previa decisión del CONATEL, la Secretaría otorgará concesiones, permisos y autorizaciones a personas naturales o jurídicas domiciliadas en el Ecuador, que tengan capacidad técnica y financiera para prestar servicios de telecomunicaciones.
- La Secretaría informará al CONATEL de la entrega de cada solicitud para una concesión o permiso, dentro de cinco días hábiles contados desde su recepción.

**Sistemas Privados:**

Son aquellos que están destinados para uso exclusivo del usuario. Se considerarán también sistemas privados los sistemas de radiocomunicación para ayuda a la comunidad. Se prohíbe expresamente alquilar el sistema a terceras personas.

**Proceso Competitivo:**

- El aviso de apertura de un proceso competitivo para el otorgamiento en concesión o permiso de determinados servicios de telecomunicaciones, o para la autorización de frecuencias, deberá ser publicado por la Secretaría en dos diarios de amplia circulación nacional.

**Contenido Proceso Competitivo:**

- El aviso de apertura deberá describir, entre otros aspectos, el servicio del que se trate, los requisitos de desarrollo de la infraestructura, y los términos de referencia sobre los cuales se analizarán las ofertas.

**Interesados En El Proceso Competitivo:**

- Los interesados podrán remitir a la Secretaría sus comentarios sobre las condiciones previstas en el aviso dentro de los diez días siguientes a su publicación. Vencido este plazo, la Secretaría deberá publicar un segundo aviso confirmando las condiciones de la oferta o adaptándolas en respuesta a los comentarios de los interesados

**Uso De Frecuencias:**

- Artículo 118.- El uso de frecuencias del espectro radioeléctrico requiere del otorgamiento previo de una autorización aprobada por el CONATEL y suscrita por la Secretaría.
- Artículo 119.- Los derechos por el uso de frecuencias serán fijados por el CONATEL sobre la base de un estudio técnico, económico y social
- Artículo 120.- El CONATEL establecerá en Plan Nacional de Frecuencias, incluyendo la atribución de bandas a los distintos servicios y su forma de uso, la asignación de frecuencias y el control de su uso.

**Requisitos Para Obtener La Autorización Para El Uso De Frecuencias:**

- Para obtener la autorización de uso de frecuencias, se requiere de una solicitud y cumplir con los requisitos técnicos y legales establecidos según el tipo de servicio.
- El tiempo de autorización es de cinco años, renovables por periodos iguales a solicitud escrita del interesado, presentada con noventa días de anticipación al vencimiento del plazo original

**De Las Infracciones Y Sanciones:**

**Art. 58.- Infracciones.-** Las infracciones en materia de radiocomunicaciones, son las que constan en el Art. 28 de la Ley Especial de Telecomunicaciones reformada.

**Art. 59.- Sanciones.-** Las sanciones que se apliquen por la comisión de las infracciones son las que constan en el Art. 29 de la Ley Especial de Telecomunicaciones reformada.

**Art. 60.- Reglas de aplicación.-** Para una mejor aplicación de las sanciones previstas en la Ley Especial de Telecomunicaciones reformada, se procederá de acuerdo con las siguientes reglas:

- a. Se aplicará la sanción prevista en el literal a) del Art. 29 de la Ley Especial de Telecomunicaciones cuando las infracciones señaladas en los literales d) y f) del Art. 28 de la Ley Especial de Telecomunicaciones reformada, ocurran por primera vez.
- b. Se aplicará el 50% de la máxima sanción pecuniaria prevista en el literal b) del Art. 29 de la Ley Especial de Telecomunicaciones reformada en caso de reincidencia de las conductas señaladas en el literal anterior dentro del período de un (1) año calendario contado a partir de la sanción previa, y cuando las infracciones señaladas en el literal h) del Art. 28 de la Ley Especial de Telecomunicaciones reformada, ocurra por primera vez.
- c. Se aplicará el 100% de la máxima sanción pecuniaria prevista en el literal b) del Art. 29 de la Ley Especial de Telecomunicaciones reformada cuando se cometan las infracciones descritas en los literales a), b), c), e) y g) del Art. 28 de la ley. En el caso de que la infracción consista en el ejercicio de actividades o la utilización de frecuencias radioeléctricas sin concesión, autorización o permiso, conjuntamente con esta sanción se procederá a la suspensión definitiva.
- d. Se aplicará la sanción prevista en el literal c) del Art. 29 de la Ley Especial de Telecomunicaciones reformada, en caso de reincidencia de las conductas señaladas en el literal b) y en el primer párrafo del literal c) de este artículo, dentro del período de un (1) año calendario contado a partir de la sanción previa y cuando se cometan las infracciones descritas en los numerales 1, 2, 3 y 4 del Art. 28 de la Ley.

- e. Se aplicará la sanción prevista en el literal d) del Art. 29 de la Ley Especial de Telecomunicaciones reformada, en caso de reincidencia de las conductas señaladas en el literal anterior dentro del período de un (1) año calendario contado a partir de la sanción previa.
- f. Se aplicará la sanción prevista en el literal e) del Art. 29 de la Ley Especial de Telecomunicaciones reformada en caso de no acatar la sanción prevista en el literal d) del Art. 29 de esta misma ley.

**Art. 61.- Autorización en Trámite.-** En caso de encontrarse en trámite la solicitud para la concesión o autorización de uso de frecuencias de una persona natural o jurídica que ha puesto en funcionamiento un sistema de radiocomunicación sin autorización de la SNT, el trámite será anulado previo informe de la SUPTEL. Dicho trámite podrá ser reiniciado previo el pago de la multa y reliquidación por uso de frecuencias de acuerdo a las normas vigentes. Los valores que se hayan cancelado a la SNT hasta la anulación del trámite no serán devueltos ni endosados al nuevo trámite, teniendo que volver a cancelar los valores por nuevos derechos y conceptos de concesión o autorización de uso de frecuencias.

- **Requisitos Para Obtener Certificado Del Comando Conjunto De Las Fuerzas Armadas:**

- **Ciudadanos Nacionales:**

1. Solicitud Jefe Comando Conjunto de las Fuerzas Armadas.
2. Copia de la cédula de identidad legible
3. Certificado de votación actualizado.
4. Copia de la libreta de Militar hasta los sesenta y cinco años de edad.
5. Record policial actualizado y original

6. Copia del estudio de ingeniería del sistema de comunicaciones, según el formato de la Secretaría Nacional de Telecomunicaciones.

- **Ciudadanos Extranjeros** (A más de los contemplados para los ciudadanos nacionales)

1. Copia del pasaporte y certificado de visación legible y actualizada.

2. Copia del carné ocupacional.

3. Calidad migratoria original.

## **6.2. Títulos Habilitantes:**

### **6.2.1. Autorizaciones Y Renovaciones De Uso De Frecuencias:**

**Art. 10.- La Autorización.-** Es un acto administrativo mediante el cual la SNT, por delegación del CONATEL, suscribe un contrato de autorización de uso de frecuencias para que una persona natural o jurídica opere sistemas de radiocomunicación.

La SNT, por delegación del CONATEL, tiene la facultad de autorizar directamente el uso de frecuencias en el caso de un sistema privado.

**Art. 11.- Las Personas Autorizadas.-** Podrán celebrar contratos de autorización de uso de frecuencias para operar sistemas de radiocomunicación, las personas naturales o jurídicas, nacionales o extranjeras, que tengan capacidad jurídica para hacerlo, expresen su consentimiento y cumplan con los requisitos previstos en el Reglamento General a la Ley Especial de Telecomunicaciones reformada, Reglamento de Tarifas por el Uso de Frecuencias, en el presente reglamento y en los reglamentos, normas técnicas, planes y resoluciones expedidos sobre la materia por el CONATEL.

**Art. 12.- Solicitud para la Autorización.-** Para la autorización de uso de frecuencias, el interesado debe presentar a la SNT una solicitud por escrito y cumplir con los requisitos de carácter legal, técnico y económico que establezca el CONATEL para el efecto.

**Art. 13.- Requisitos para la Autorización.-** Para obtener la autorización de uso de frecuencias para operar un Sistema de Radiocomunicación, el solicitante deberá presentar a la SNT los siguientes requisitos:

- **Información Legal:**

- a. Solicitud dirigida al Secretario, detallando el tipo de servicio;
- b. Nombre y dirección del solicitante (para personas jurídicas, de la compañía y de su representante legal);
- c. Copia certificada de la escritura constitutiva de la compañía y reformas en caso de haberlas (para personas jurídicas);
- d. Nombramiento del representante legal debidamente inscrito (para personas jurídicas);
- e. Copia de la cédula de ciudadanía (para personas jurídicas, del representante legal);
- f. Copia del certificado de votación del último proceso electoral (para personas jurídicas, del representante legal);
- g. Certificado actualizado de cumplimiento de obligaciones otorgado por la Superintendencia de Compañías o Superintendencia de Bancos según el caso, a excepción de las instituciones estatales (para personas jurídicas);
- h. Registro único de contribuyentes;
- i. Fe de presentación al Comando Conjunto de las Fuerzas Armadas para que otorgue el certificado de antecedentes personales del solicitante, a excepción de las instituciones estatales (para personas jurídicas, del representante legal); y,
- j. Otros documentos que la SNT solicite.

- **Información Técnica:**

El estudio técnico del sistema elaborado en formulario disponible en la SNT será suscrito por un ingeniero en electrónica y telecomunicaciones, inscrito en una de las filiales del Colegio de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos del Ecuador (CIEEE) y registrado en la SNT. La información técnica y operativa incluirá entre otros los siguientes aspectos:

---

De los servicios fijo y móvil:

- a. Descripción de los servicios que ofrecerá, con los detalles de las facilidades y limitaciones del sistema;
- b. Rango de frecuencias;
- c. Número de frecuencias requeridas, y la anchura de banda para cada una de ellas;
- d. Modo de operación;
- e. Tipo de emisión;
- f. Ubicación de las estaciones fijas;
- g. Cálculo de propagación del sistema;
- h. Diagramas de perfil, basados en un mapa geográfico 1:50.000;
- i. Cálculo del área de cobertura;
- j. Características técnicas de las antenas y equipos;
- k. Procedimientos de administración, operación, mantenimiento y gestión del sistema que se propone instalar;
- l. Plan de ejecución que describa la implementación del sistema para la provisión de los servicios a partir de la fecha de autorización;
- m. Plan de expansión del sistema; y,
- n. Otros documentos que la SNT solicite.

De los servicios fijo y móvil por satélite:

- a. Descripción de los servicios que ofrecerá, con los detalles de las facilidades y limitaciones del sistema;
- b. Ubicación de las estaciones terrenas o unidades satelitales fijas;
- c. Satélite y ubicación del mismo;
- d. Información sobre el servicio nacional o internacional, señalando los lugares que intervienen en la comunicación;
- e. Certificación del Plan de Transmisión del proveedor satelital;
- f. Características de la estación terrena o unidad satelital a instalarse y de sus accesorios, de forma que se pueda identificar su capacidad de transmisión y recepción, además de las características de los equipos generadores de señales, en caso de haberlos;
- g. Bandas de frecuencias;

- h. Número de enlaces satelitales requeridos, velocidad, modulación y anchura de banda para cada uno de ellos;
- i. Análisis de transmisión del enlace ascendente y descendente;
- j. Características técnicas de las antenas y equipos;
- k. Procedimientos de administración, operación, mantenimiento y gestión del sistema que se propone instalar;
- l. Plan de ejecución que describa la implementación del sistema para la provisión de los servicios a partir de la fecha de autorización;
- m. Plan de expansión del sistema; y,
- n. Otros documentos que la SNT solicite.

**Art. 14.- Contenido del Contrato de Autorización.-** El contrato de autorización de uso de frecuencias contendrá los siguientes elementos:

- a. Período de vigencia de la autorización;
- b. Objeto del contrato;
- c. Características técnicas;
- d. Pago de derechos, tarifas;
- e. Cesión de derechos;
- f. Obligatoriedad de firmar el acta de puesta en operación del sistema conjuntamente con la SUPTEL;
- g. Notificación de modificaciones;
- h. Proveedor del segmento espacial si es del caso;
- i. Derechos y obligaciones de las partes y las sanciones por incumplimiento del contrato;
- j. Adecuaciones técnicas;
- k. Terminación del contrato;
- l. Cualquier otro que el CONATEL establezca; y,
- m. Las demás que se determine en la legislación ecuatoriana.

**Art. 15.- Duración del Contrato de Autorización.-** Los contratos de autorización de uso de frecuencias para los Sistemas de Radiocomunicación tendrán una duración de cinco (5) años. El contrato de autorización podrá ser renovado previa solicitud del concesionario o usuario, dentro de los plazos

establecidos en los reglamentos de cada servicio y siempre que no contravenga a los intereses del Estado.

**Art. 16.- Modificaciones del Contrato de Autorización.-** De surgir causas administrativas o legales que modifiquen las condiciones de los contratos de autorización de uso de frecuencias se procederá a la celebración de un adendum al contrato siguiendo el procedimiento establecido en las normas vigentes.

**Art. 17.- Modificaciones Técnicas.-** El concesionario o usuario no requiere suscribir un nuevo contrato de autorización en los siguientes casos:

a) Servicio Fijo y Móvil:

Cambio de frecuencias.

Modificación del número de estaciones fijas, móviles y portátiles.

Reubicación de repetidora, estaciones fijas o móviles (cambio de vehículos).

Cambio de Potencia o área de cobertura.

Renovación de equipos.

## BIBLIOGRAFÍA CAPÍTULO VI

[1] Sistemas y servicios de radiocomunicaciones, [www.conatel.gov.ec/website/servicios/serv\\_varios](http://www.conatel.gov.ec/website/servicios/serv_varios), 22/06/2008.

[2] Reglamento y norma técnica para los sistemas comunales de explotación, [http://www.conatel.gov.ec/site\\_conatel/index.php/marco-legal/normativa-legal/regulacion-de-servicios/112-reglamento-y-norma-tecnica-para-los-sistemas-comunales-de-explotacion?showall=1](http://www.conatel.gov.ec/site_conatel/index.php/marco-legal/normativa-legal/regulacion-de-servicios/112-reglamento-y-norma-tecnica-para-los-sistemas-comunales-de-explotacion?showall=1), 23/06/2008.

[3] De Los Derechos De Concesion, <http://www.dlh.lahora.com.ec/paginas/judicial/PAGINAS/R.O.Diciembre.30.2003.htm#anchor517777>, 25/06/2008.

## CAPITULO VII

### ANÁLISIS ECONÓMICO

#### 7.1. Análisis de sensibilidad.

El costo para implementar Wi-Max, teniendo en cuenta las instalaciones ya existentes en los campos de Petroproducción como son las torres, el espacio físico, etc, se puede visualizar en la tabla 7.1.

**Tabla 7.1. Costo referencial del Proyecto WI-MAX**

Descripción	Cantidad	Costo Unitario	TOTAL
Estación Base Wi-Max CBS5000	2	\$27.300,00	\$54.600,00
CPE's SSU5200	167	\$400,00	\$66.800,00
Antenas ( 4 X 2 estaciones base)	8	\$300,00	\$2.400,00
Cableado	200	\$6	\$1.200,00
<b>TOTAL</b>			<b>\$125.000,00</b>

El costo total del Proyecto es el mínimo que se podría tener al momento de implementarlo, pero sin obtener una variación significativa.

- **Ingresos**

Para el cálculo de los ingresos, se realizara el estudio tomando en cuenta el valor económico que tuviera el Proyecto si se arrendara el servicio,

tomando en cuenta la ganancia que espera obtener un inversionista al momento de invertir en un proyecto de esta magnitud.

La inversión debe de ser recuperada entre 3 a 5 años en su totalidad, nosotros realizaremos el análisis de recuperación para 4 años que es el promedio del tiempo, esto quiere decir que nosotros tenemos que recuperar la inversión al 25% anual que es:

**Tabla 7.2. Recuperación de Capital Anual**

RECUPERACIÓN DE CAPITAL ANUAL
Recuperación de Capital Anual = 25 % del Costo del Proyecto
Recuperación de Capital Anual = 25 % de \$120.000
Recuperación de Capital Anual = \$31.250

La recuperación de capital se la realiza incluyendo los gastos operativos y de administración.

- **Costos Operativos, de Administración y Mantenimiento.**

Englobando lo necesario para operar el sistema de comunicaciones se necesitara:

**Tabla 7.3. Costos Operativos y de Administración**

OCUPACIÓN	CANTIDAD	SUELDO
Gerente	1	\$ 1.000,00
Administrador	1	\$ 800,00
Técnicos	4	\$ 2.400,00
Transporte	1	\$ 1.500,00
Mantenimiento		\$500,00
MENSUAL	1 MES	\$ 6.200,00
ANUAL	12 MESES	\$ 74.400,00
Arriendo Espectro	12 MESES	\$6.000,00
TOTAL ANUAL	12 MESES	\$80.400,00

Los gastos anuales que el inversionista deberá de recuperar anualmente sería la suma de los Costos de Operación y Administración (Tabla 7.3) y la recuperación de capital (Tabla 7.2). Anualmente necesita recibir:

**Tabla 7.4. Recuperación Anual Total.**

<b>RECUPERACIÓN ANUAL TOTAL</b>	
Recuperación Anual =	Recuperación de Capital Anual + Gastos Operativos y de Administración
Recuperación Anual =	\$31.250 + \$ 80.400
Recuperación Anual TOTAL =	\$111.650

Petroproducción gastaría \$111.650 dólares al año si arrendara el servicio por lo cual esto lo realizaríamos como si fuera un ingreso.

- **Egresos**

Se realiza la estimación de egresos por costos operativos, de administración y mantenimiento:

- **Costos Operativos de Administración y Mantenimiento:**

Los costos operativos, de administración y mantenimiento serán los mismos de la tabla 7.3 que los costos que se tiene para mantener el servicio que de un total de \$80.400,00 dólares.

### 7.1.1. Calculo de TIR <sup>[1][2]</sup>

Se denomina Tasa Interna de Rentabilidad (T.I.R.) a la tasa de descuento que hace que el Valor Actual Neto (V.A.N.) de una inversión sea igual a cero. (V.A.N. =0).

Este método considera que una inversión es aconsejable si la T.I.R. resultante es igual o superior a la tasa exigida por el inversor, y entre varias alternativas, la más conveniente será aquella que ofrezca una T.I.R. mayor.

Una forma para calcular la TIR es con el método de interpolación lineal, este procedimiento requiere que el calculista imponga dos tasas, una menor y una mayor, tal que ellas originen un VAN positivo y otro negativo, respectivamente. La TIR es el valor de la tasa (del eje de las abscisas) que interseca con la recta cuya Trayectoria pasa por las coordenadas del punto dado por la tasa menor y su VAN ( $I_{menor}, VAN_{I_{menor}}$ ) y por el punto cuyas coordenadas resultan de la tasa mayor y su respectivo VAN ( $I_{MAYOR}, VAN_{I_{MAYOR}}$ ).

Como procedimiento se resume que:

- a) Obtenemos el modelo matemático del VAN.

$$VAN = -E_0 + \sum_{j=1}^n \frac{VA_j}{(1+i)^j} = 0$$

Donde:

- $E_0$  = inversión en el año cero.
- $VA_j$  = ingresos menos egresos para el período  $j$ .
- $n$  = número de períodos totales.
- $i$  = tasa.

Encontremos el VA:

$$VA_j = \text{ingresos}_j - \text{egresos}_j$$

$$VA_j = \$111.650 - \$80.400.$$

$$VA_j = \$31.250.$$

Los  $VA_j$  van a ser los mismos en todos los periodos para el Proyecto, la ecuación del VAN será:

$$VAN_i = -125000 + \frac{31250}{(1+i)^1} + \frac{31250}{(1+i)^2} + \frac{31250}{(1+i)^3} + \frac{31250}{(1+i)^4} + \frac{31250}{(1+i)^5} + \frac{31250}{(1+i)^6} + \frac{31250}{(1+i)^7} + \frac{31250}{(1+i)^8}$$

- b) Graficamos la curva en un sistema coordinado, tasa en el eje de las abscisas y VAN en el de las ordenadas, el cálculo de la tasa interna de retorno es más preciso por este método.

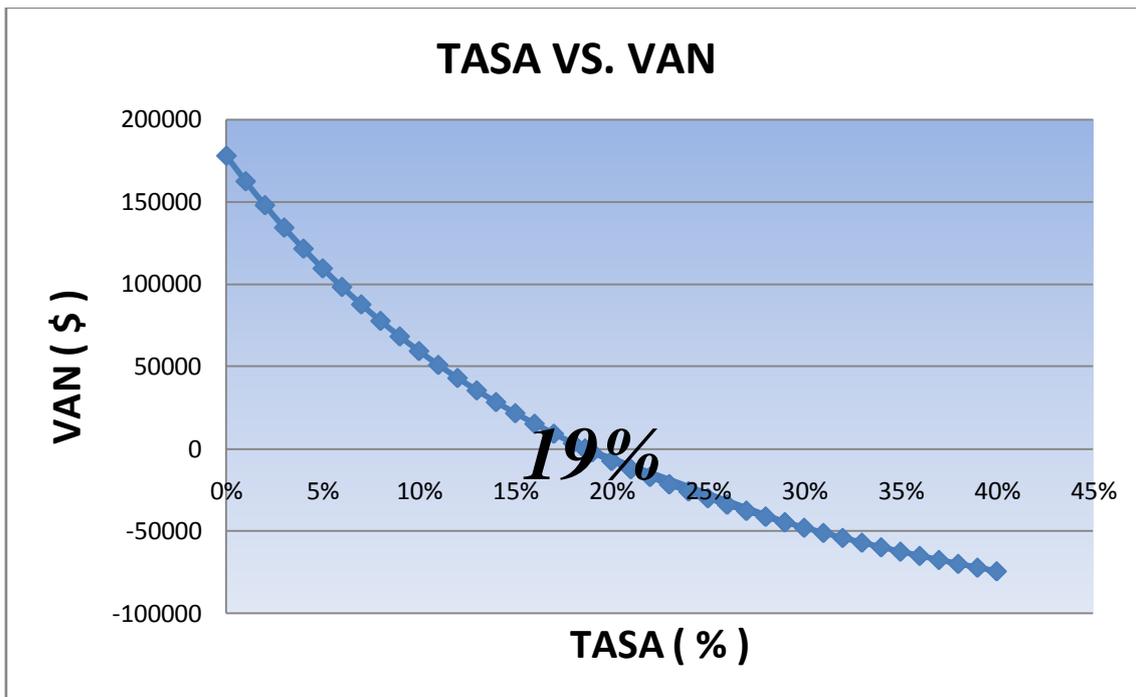


Figura 7.1: Tasa vs Van.

- c) Vamos asignar dos valores de tasa, con las que podamos obtener un VAN positivo y otro negativo; en el Gráfico 7.1 la intersección de la curva con el eje de las abscisas se encuentra cerca del 19%, entonces asumimos un valor de 18% para la tasa menor y 20% para la tasa mayor.

Así tenemos:

- VAN negativo:

$$VAN_{18\%} = -125000 + \frac{31250}{(1+0.18)^1} + \frac{31250}{(1+0.18)^2} + \frac{31250}{(1+0.18)^3} + \frac{31250}{(1+0.18)^4} + \frac{31250}{(1+0.18)^5} + \frac{31250}{(1+0.18)^6} + \frac{31250}{(1+0.18)^7} + \frac{31250}{(1+0.18)^8}$$

$$VAN_{18\%} = 2423,92991$$

- VAN positivo:

$$VAN_{20\%} = -120000 + \frac{31250}{(1+0.20)^1} + \frac{31250}{(1+0.20)^2} + \frac{31250}{(1+0.20)^3} + \frac{31250}{(1+0.20)^4} + \frac{31250}{(1+0.20)^5} + \frac{31250}{(1+0.20)^6} + \frac{31250}{(1+0.20)^7} + \frac{31250}{(1+0.20)^8}$$

$$VAN_{20\%} = -5088,7562$$

La recta pasará por las coordenadas: (18%; 2423) y (20%; -5088).

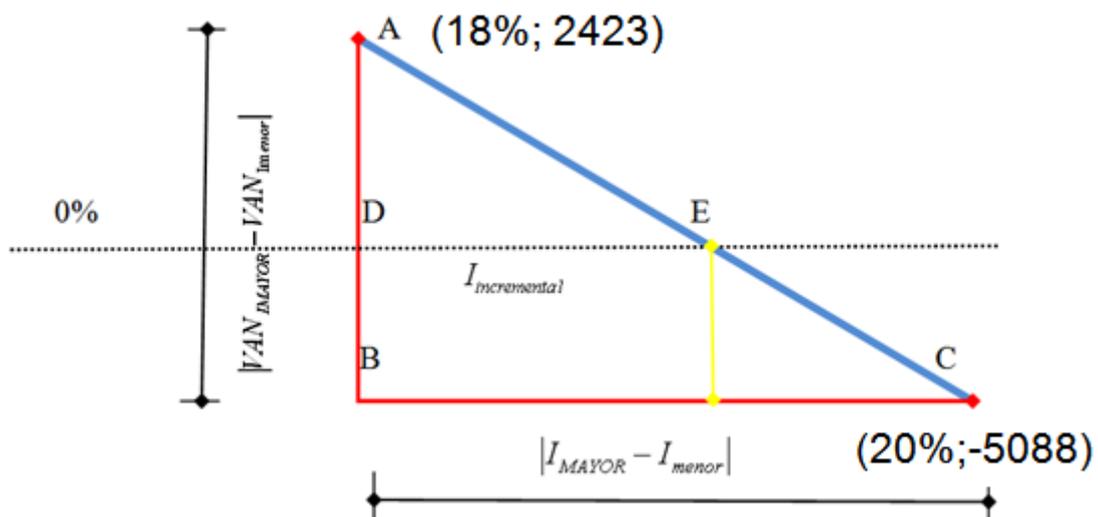


Figura 7.2. Interpolación Lineal.

d) Por medio de la proporcionalidad entre el triángulo  $\Delta ABC$  y el triángulo  $\Delta ADE$  del Gráfico 7.2 y basados en el criterio de semejanza de triángulos realizamos:

$$\left( \frac{I_{MAYOR} - I_{menor}}{I_{incremental}} \right) = \left( \frac{|VAN_{I_{MAYOR}} - VAN_{I_{menor}}|}{VAN_{I_{menor}}} \right)$$

$$I_{incremental} = \left( \frac{I_{MAYOR} - I_{menor}}{|VAN_{I_{MAYOR}} - VAN_{I_{menor}}|} \right) VAN_{I_{menor}}$$

Para encontrar el TIR es la siguiente fórmula:

$$TIR = I_{menor} + I_{incremental}$$

Al relacionar las dos ecuaciones anteriores se presenta la fórmula para calcular la tasa con la que el VAN se hace cero, que es la siguiente:

$$TIR = I_{menor} + \left( \frac{I_{MAYOR} - I_{menor}}{|VAN_{I_{MAYOR}} - VAN_{I_{menor}}|} \right) VAN_{I_{menor}}$$

Donde:

- $I_{menor}$  = valor impuesto como tasa menor.
- $I_{MAYOR}$  = valor impuesto como tasa mayor.
- $VAN_{I_{menor}}$  = VAN calculado con la tasa menor.
- $VAN_{I_{MAYOR}}$  = VAN calculado con la tasa mayor.
- TIR = tasa interna de retorno.

$$TIR = I_{menor} + \left( \frac{I_{MAYOR} - I_{menor}}{|VAN_{I_{MAYOR}} - VAN_{I_{menor}}|} \right) VAN_{I_{menor}}$$

$$TIR = 0.18 + \left( \frac{0.20 - 0.18}{|-5088,7562 - 2423,9299|} \right) 2423,92991$$

$$TIR = 0.18645.$$

$$TIR = 18,645\%.$$

### 7.1.2. Calculo de VAN <sup>[3]</sup>

Es un procedimiento que permite calcular el valor presente de un determinado número de flujos de caja futuros. El método, además, descuenta una determinada tasa o tipo de interés igual para todo el período considerado. Las siglas en ingles son NPV y VAN en español es el valor actual neto o valor presente neto.

La fórmula que nos permite calcular el Valor Presente Neto es:

$$VAN = \sum_{n=0}^N \frac{I_n - E_n}{(1+i)^n}$$

Donde:

- $I_n$  = ingresos en el periodo n.
- $E_n$  = egresos en el periodo n.
- $N$  = número de períodos considerado (el primer período lleva el número 0).
- $i$  = tasa de interés.

Cuando se iguala el VAN a 0,  $i$  es la TIR (tasa interna de retorno).

Tabla 7.5: Significado y Decisiones del valor del VAN.

Valor	Significado	Decisión a tomar
$VAN > 0$	La inversión produciría ganancias	El proyecto puede aceptarse
$VAN < 0$	La inversión produciría pérdidas	El proyecto debería rechazarse
$VAN = 0$	La inversión no produciría ni ganancias ni pérdidas	Dado que el proyecto no agrega valor monetario, la decisión debería basarse en otros criterios, como la obtención de un mejor posicionamiento en el mercado u otros factores.

Para encontrar el VAN en nuestro proyecto debemos:

a) Realizar la operación algebraica:

$$\text{Ingresos} - \text{Egresos} = \$111.650 - \$80.400.$$

$$\text{Ingresos} - \text{Egresos} = \$31.250.$$

b) El VAN debe de ser cero:

$$VAN_i = -125000 + \frac{31250}{(1+i)^1} + \frac{31250}{(1+i)^2} + \frac{31250}{(1+i)^3} + \frac{31250}{(1+i)^4} + \frac{31250}{(1+i)^5} + \frac{31250}{(1+i)^6} + \frac{31250}{(1+i)^7} + \frac{31250}{(1+i)^8}$$

$$VAN_i = 0 = -125000 + \frac{31250}{(1+i)^1} + \frac{31250}{(1+i)^2} + \frac{31250}{(1+i)^3} + \frac{31250}{(1+i)^4} + \frac{31250}{(1+i)^5} + \frac{31250}{(1+i)^6} + \frac{31250}{(1+i)^7} + \frac{31250}{(1+i)^8}$$

Tabla 7.6: Valor de VAN = 0.

TIR	VAN
0,18	2423,929908
0,181	2030,1495
0,182	1638,354197
0,183	1248,531089
0,184	860,6673653
0,185	474,7503137
0,186	90,76732026
0,1861	52,47491139
0,1862	14,20170539
0,18622	6,549367444
0,18623	2,723486293
0,186232	1,958333088
0,186233	1,575759363
0,186235	0,810617669
0,186237	0,04548365
0,186237111	0,003018936
	-
<b>0,18623712</b>	<b>0,000424147</b>
	-
0,18623713	0,004249796

Como se puede observar en la Tabla 7.5 el valor donde el VAN está más cercano a cero es 0,18623712 que equivale a un valor redondeado de 18,62% y como se entiende en la Tabla 7.4 el proyecto es rentable y se lo puede aceptar.

### 7.1.3. Período de Recuperación <sup>[4]</sup>

El período de recuperación es el tiempo que se demora un proyecto en recuperar lo invertido, primero vamos a calcular el flujo de caja financiero proyectado:

Tabla 7.7: Flujo de caja financiero proyectado.

AÑO	0	1	2	3	4	5
BENEFICIO NETO	-\$ 125.000	\$ 31.250	\$ 31.250	\$ 31.250	\$ 31.250	\$ 31.250
COSTO NO RECUPERADO	-\$ 125.000	-\$ 93.750	-\$ 62.500	-\$ 31.250	\$ 0	\$ 31.250

Para calcular el periodo de recuperación se tiene la siguiente fórmula:

$$PR = \text{año anterior de recuperación total} + \frac{\text{valor no recuperado al inicio del año}}{\text{flujo de efectivo durante el año.}}$$

- Año anterior de recuperación total =3
- Valor no recuperado al inicio del año =31.250.
- Flujo de efectivo durante el año = 31.250.

$$PR = 3 + \frac{31.250}{31.250}$$

$$PR = 3 + 1$$

$$PR = 4.$$

Esto nos indica que el periodo de recuperación de capital es de exactamente 4 años, como se lo había propuesto en los ingresos del ítem 7.1.

## BIBLIOGRAFÍA CAPÍTULO VII

- [1] Métodos de Análisis de Inversiones - TIR VAN, <http://www.zonaeconomica.com/inversion/metodos>, 26/06/2008.
- [2] Benavides, Holger, Determinación de la TIR por el método de Newton Raphson, [www.utpl.edu.ec/ucg/images/stories/papers/numericos%20tir.pdf](http://www.utpl.edu.ec/ucg/images/stories/papers/numericos%20tir.pdf), 12/2007, 27/06/2008.
- [3] BizWiz, Qué es el Valor Actual Neto o VAN (NPV en Inglés), [www.drnegocios.com/2008/01/08/que-es-el-valor-actual-neto-o-van-npv-en-ingles](http://www.drnegocios.com/2008/01/08/que-es-el-valor-actual-neto-o-van-npv-en-ingles), 28/06/2008.
- [4] Bases Metodológicas Para Elaboración De Estudio De Factibilidad De Un Proyecto De Inversión Industrial, <http://www.cubaindustria.cu/ContadorOnline/Finanzas/Estudios%20Factibilidad/Industria/MEFI-04-05-C.htm>, 28/06/2008.

## CAPITULO VIII

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 8.1. CONCLUSIONES <sup>[1]</sup>

Al concluir el presente proyecto podemos concluir lo siguiente:

- Wi-Max es una tecnología que está teniendo mucha aceptación en el mundo, por lo cual los precios en un futuro van a tender a bajar.
- El nivel físico de Wi-Max es basado en OFDM, que es una técnica efectiva para contrarrestar distorsión de múltiple camino, importante en ambientes como el sector de Sacha.
- Wi-Max soporta técnicas avanzadas de procesamiento de señales para mejorar la capacidad total del sistema como modulación y codificación adaptivas, FDD y TDD.
- .Wi-Max permite varios tipos de tráfico como es voz, datos y video, ya que posee un nivel MAC bastante flexible y una alta capacidad para asignación de recursos.
- Funciones de seguridad robustas como criptografía y autenticación las cuales son incluidas en el estándar para Wi-Max.
- Wi-Max puede potencialmente ser desarrollado en una variedad de bandas espectrales.

- 
- Con el presente proyecto basado en Wi-Max se puede cubrir las necesidades de voz, datos y video con un gasto económico conveniente.
  - La comparación tomada en el capítulo 4 entre el COST-231 y SUI nos indica que los modelos de propagación aun no son confiables para los sistemas Wi-Max más aun en ambientes como el Sacha de gran densidad de vegetación.
  - Diseñar la red con tecnología Wi-Max ahorra recursos a Petroproducción ya que con su tecnología que ofrece comunicación sin línea de vista directa, lo cual se tradujo en la utilización de mástiles más pequeños para la instalación de los CPE's.
  - El análisis económico reveló que invertir en el proyecto es rentable, por que se obtuvo una TIR superior al 18% que es un gran porcentaje de ganancia para invertir y con una recuperación de capital de 4 años muy favorable.

## 8.2. RECOMENDACIONES

Las recomendaciones al finalizar el presente proyecto son las siguientes:

- Las herramientas de simulación y los modelos de propagación no tienen la exactitud deseada, más aun, si se simula cobertura punto-multipunto incluyendo las condiciones ambientales extremas como es el caso del sector de Sacha, cuyas condiciones no han sido lo suficientemente comprobadas, aunque la herramienta SIRENET sea una de las más eficientes es recomendable realizar prácticas de cobertura en el campo tomando datos antes de implementar por completo el proyecto y establecer la zona de cobertura real y las zonas oscuras que puedan existir.
- La tendencia de Wi-Max es bajar su banda de operación para los de 700 MHz como la empresa Intel ya que con estas bajas frecuencias se puede tener una mejor penetración en los edificios, casas, etc. y/o a la banda de 2,5 GHz, por lo cual es recomendable tener presente esta tendencia al momento de implementar Wi-Max.
- Por la alta capacidad de la tecnología Wi-Max en su ancho de banda, se recomienda asignar cierto número de canales para dar servicio de internet y comunicación de voz a los pueblos aledaños, con el fin de motivar el acceso a información y tecnología al pueblo ecuatoriano para su desarrollo.

## **BIBLIOGRAFÍA CAPÍTULO VIII**

[1] Carrera, Enrique, Diseño de Redes WiMax, [www.usfq.edu.ec](http://www.usfq.edu.ec), 25/06/2008.

## **FECHA DE ENTREGA DEL PROYECTO**

El presente proyecto de grado fue entregado al Departamento de Eléctrica y Electrónica, reposando en la Escuela Politécnica del Ejército desde:

Sangolquí, a 28 de Julio del 2008.

MSC. Ing. Gonzalo Olmedo.  
**COORDINADOR DE LA CARRERA DE INGENIERÍA  
ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES**

Dr. Jorge Carvajal.  
**SECRETARIO ACADÉMICO**

Paúl Ciro Alexander Escobar Duque.  
**AUTOR**