



Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica

# **DISEÑO Y CUANTIFICACIÓN DE AMPLIACIÓN DE LA RED GSM DE TELEFONICA MÓVILES EN EL DEPARTAMENTO DE EL QUICHÉ**

**Víctor Leonel Morales Santizo**

Asesorado por el Ing. Edgardo Loukota Castellanos

Guatemala, septiembre de 2006

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO Y CUANTIFICACIÓN DE AMPLIACIÓN DE LA RED  
GSM DE TELEFONICA MÓVILES EN EL DEPARTAMENTO  
DE EL QUICHÉ**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**VÍCTOR LEONEL MORALES SANTIZO**

ASESORADO POR EL INGENIERO EDGARDO LOUKOTA CASTELLANOS

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE  
**INGENIERO ELECTRICISTA**

GUATEMALA, SEPTIEMBRE DE 2006

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Inga. Glenda Patricia García Soria
VOCAL II	Lic. Amahán Sánchez Álvarez
VOCAL III	Ing. Julio David Galicia Celada
VOCAL IV	Br. Kenneth Issur Estrada Ruiz
VOCAL V	Br. Elisa Yazminda Vides Leiva
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivonne Véliz Vargas

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Jorge Mario Morales González
EXAMINADOR	Ing. Alejandro Falla Flores
EXAMINADOR	Ing. Francisco Javier Gonzáles López
EXAMINADOR	Ing. Miguel Ángel Sánchez Guerra
SECRETARIO	Ing. Edgar José Bravatti Castro

## **HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

### **DISEÑO Y CUANTIFICACIÓN DE AMPLIACIÓN DE LA RED GSM DE TELEFONICA MÓVILES EN EL DEPARTAMENTO DE EL QUICHÉ,**

tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, con fecha de 12 de agosto de 2005.

Víctor Leonel Morales Santizo

## **AGRADECIMIENTO A**

### **MIS PADRES**

Quienes son los patrocinadores incondicionales del presente trabajo de graduación que ahora culmino gracias a su esfuerzo.

# ÍNDICE GENERAL

<b>ÍNDICE DE ILUSTACIONES.....</b>	<b>V</b>
<b>GLOSARIO.....</b>	<b>XI</b>
<b>RESUMEN.....</b>	<b>XIX</b>
<b>OBJETIVOS.....</b>	<b>XXI</b>
<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>XXIII</b>
<b>1. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROYECTO</b>	<b>1</b>
1.1. Información general de la empresa.....	1
1.1.1. Reseña histórica .....	1
1.1.2. Servicios que presta Telefónica .....	3
1.1.3. Descripción de la red de telefonía móvil.....	5
1.2. Información general de El Quiché.....	10
1.2.1. Análisis demográfico.....	10
1.2.2. Análisis geográfico.....	12
1.2.2.1 Ubicación y extensión territorial.....	12
1.2.2.2 Límites.....	13
1.2.2.3 Fisiografía.....	13
1.2.2.4 Orografía.....	14
1.2.2.5 Hidrografía.....	15
1.2.2.6 Clima.....	16
1.2.3. Análisis de mercado .....	16
<b>2. CONCEPTOS Y DEFINICIONES</b>	<b>19</b>
2.1. Definiciones elementales.....	19
2.1.1. Ondas electromagnéticas.....	19

2.1.2.	Frecuencia.....	22
2.1.3.	Espectro de frecuencia.....	23
2.1.4.	Ancho de banda .....	24
2.1.5.	Erlang.....	24
2.1.6.	Estación base.....	25
2.1.7.	Celda.....	26
2.1.8.	Cobertura.....	28
2.1.9.	Acimut.....	30
2.1.10.	Inclinación.....	30
2.1.11.	Decibel.....	31
2.2.	Elementos de una red GSM.....	32
2.2.1.	Sub-sistema de conmutación.....	33
2.2.2.	Sub-sistema de operación, supervisión y mantenimiento.....	38
2.2.3.	Sub-sistema de estaciones base.....	39
2.3.	Diseño de radio frecuencia.....	43
2.3.1.	Cobertura de una celda.....	44
2.3.2.	Planificación de celdas.....	45
2.3.3.	Planificación de frecuencias.....	46
2.4.	Herramientas de predicción de propagación.....	49
2.4.1.	MSI Planet.....	50
2.4.2.	Ericsson TEMS Cell Planner.....	62
2.5.	Capacidad de tráfico de una red móvil GSM.....	64
2.5.1.	Grado de servicio.....	65
2.5.2.	Modelo B de erlang.....	66
2.5.3.	Cuantificación de portadoras de tráfico de voz.....	68
2.5.4.	Cuantificación de portadoras para transmisión de datos vía GPRS.....	71
2.6.	Enlaces de transmisión vía microonda.....	76
2.6.1.	Pérdida en espacio libre.....	76

2.6.2.	Radio de Fresnel.....	78
2.6.3.	Selección de antenas.....	80
2.6.4.	Calidad del radio enlace.....	82
2.6.5.	Perfiles.....	84
<b>3.</b>	<b>DESARROLLO DEL PROYECTO</b>	<b>87</b>
3.1	Diseño de las estaciones base.....	87
3.1.1	Cálculo de la capacidad demandada.....	87
3.1.2	Cálculo del número y capacidad de las estaciones base.....	88
3.1.3	Asignación de frecuencias de las estaciones base.....	90
3.1.4	Selección de los emplazamientos y configuración de las estaciones base.....	92
3.1.4.1	Canillá.....	93
3.1.4.2	Chajul.....	95
3.1.4.3	Chicamán.....	96
3.1.4.4	Chiché.....	98
3.1.4.5	Chichicastenango.....	99
3.1.4.6	Chinique.....	101
3.1.4.7	Cunén.....	102
3.1.4.8	Ixcán.....	104
3.1.4.9	Joyabaj.....	105
3.1.4.10	Nebaj.....	107
3.1.4.11	Pachalum.....	108
3.1.4.12	Patzité.....	110
3.1.4.13	Sacapulas.....	111
3.1.4.14	San Andrés Sajcabajá.....	113
3.1.4.15	San Antonio Ilootenango.....	114
3.1.4.16	San Bartolomé Jocotenango.....	116
3.1.4.17	San Juan Cotzal.....	117

3.1.4.18 San Pedro Jocopilas.....	119
3.1.4.19 Santa Cruz del Quiché.....	120
3.1.4.20 Uspantán.....	122
3.1.4.21 Zacualpa.....	124
3.2 Cálculo de los radio enlaces de transmisión.....	127
3.2.1 Selección de las estaciones de repetición.....	127
3.2.2 Cálculos de los vanos de transmisión.....	131
<b>4. CUANTIFICACIÓN ECONÓMICA DEL PROYECTO</b>	<b>139</b>
4.1. Estimación de la inversión.....	139
4.1.1. Estaciones base .....	139
4.1.2. Equipo de microondas .....	140
4.1.3. Repetidoras de transmisión.....	141
4.2. Estimación de los gastos de operación.....	142
4.3. Análisis de rentabilidad.....	143
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>149</b>
<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>151</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>153</b>

# ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

## FIGURAS

1	Componentes de una red celular GSM.....	5
2	Detalle de la Red de Conmutación de Telefonica.....	7
3	Detalle de la Red de Transmisión Sur-Occidente, red 1.....	8
4	Detalle de la Red de Transmisión Sur-Occidente, red 2.....	9
5	Mapa de ubicación del Departamento de El Quiché.....	13
6	Mapa del departamento de El Quiché.....	15
7	Onda electromagnética.....	20
8	Frecuencia.....	22
9	Espectro electromagnético.....	23
10	Ancho de banda para GSM .....	24
11	Estación Base .....	26
12	Representación de una celda sectorial.....	27
13	Clasificación de celdas por objetivo de cobertura.....	28
14	Inclinación de antena tipo panel.....	30
15	Arquitectura básica de una red móvil celular.....	33
16	Radio base modelo 2106.....	40
17	Radio base modelo 2206.....	41
18	Re-uso de frecuencias.....	47
19	Factores de reutilización.....	48
20	Altura efectiva de antena de transmisión.....	52
21	Altura efectiva de la antena del móvil.....	53
22	Perdidas por obstrucción.....	54
23	Factor de corrección Rolling Hilly.....	57

24	Factor de corrección de inclinación.....	58
25	Factor de corrección de por agua.....	59
26	Predicción con TEM Cellplanner de un grupo de celdas.....	63
27	Probabilidad de bloqueo.....	67
28	Proceso de cuantificación de portadoras de voz.....	69
29	Trama GSM.....	70
30	Circuitos de canal compartidos GSM/GPRS .....	72
31	Proceso de cuantificación de recursos para GPRS.....	75
32	Perdida de espacio libre.....	77
33	Trayectorias de propagación.....	78
34	Primera zona de Fresnel.....	79
35	Zonas de Fresnel.....	79
36	Perfil extraído manualmente .....	85
37	Perfil digital.....	86
38	Niveles de señal .....	93
39	Mapa y Plot de Cobertura de Canillá.....	94
40	Mapa y Plot de Cobertura de Chajul.....	95
41	Mapa y Plot de Cobertura de Chicharran .....	97
42	Mapa y Plot de Cobertura de Chiché .....	98
43	Mapa y Plot de Cobertura de Chichicastenango .....	100
44	Mapa y Plot de Cobertura de Chinique .....	101
45	Mapa y Plot de Cobertura de Cunen .....	103
46	Mapa y Plot de Cobertura de Ixcán .....	104
47	Mapa y Plot de Cobertura de Joyabaj .....	106
48	Mapa y Plot de Cobertura de Nebaj .....	107
49	Mapa y Plot de Cobertura de Pachalum .....	109
50	Mapa y Plot de Cobertura de Patzité .....	110
51	Mapa y Plot de Cobertura de Sacapulas .....	112
52	Mapa y Plot de Cobertura de San Andrés Sajcabaja .....	113

53	Mapa y Plot de Cobertura de San Antonio Ilotenango.....	115
54	Mapa y Plot de Cobertura de San Bartolomé Jocotenango .....	116
55	Mapa y Plot de Cobertura de San Juan Cotzal .....	118
56	Mapa y Plot de Cobertura de San Pedro Jocopilas.....	119
57	Mapa y Plot de Cobertura de Santa Cruz del Quiché .....	121
58	Mapa y Plot de Cobertura de Uspantán .....	123
59	Mapa y Plot de Cobertura de Zacualpa .....	124
60	Perfil del enlace Santa Cruz del Quiché - Chichicastenango .....	130
61	Topología de la red transmisión. ....	131
62	Ingreso de datos del sitio y ambiente .....	132
63	Ingreso de datos de antenas y cables .....	133
64	Datos de equipamiento de radio .....	133
65	Resultado de perdidas de espacio libre.....	134
66	Resultado de disponibilidad de radio enlace.....	135

## TABLAS

I	Población Municipios del departamento de El Quichè.....	11
II	Distribución por edades. ....	12
III	Usuarios potenciales de los municipios de El Quiché.....	18
IV	Rango de frecuencias del espectro electromagnético.....	23
V	Bases de datos de Planet .....	50
VI	Valores de Pathloss (dB).....	54
VII	Coeficientes para altura efectiva en función de la distancia.....	57
VIII	Coeficientes por inclinación en función de la distancia.....	58
IX	Esquemas de codificación.....	73
X	Tráfico esperado por municipio .....	88
XI	Tabla de Erlang B .....	89
XII	Cantidad de celdas por municipio.....	90
XIII	Grupos de canales BCCH.....	91
XIV	Grupos de frecuencias para Hopping o salto.....	91
XV	Hoja de configuración de sitio Canillá.....	94
XVI	Hoja de configuración de sitio Chajul .....	96
XVII	Hoja de configuración de sitio Chicamán .....	97
XVIII	Hoja de configuración de sitio Chiché .....	99
XIX	Hoja de configuración de sitio Chichicastenango .....	100
XX	Hoja de configuración de sitio Chinique .....	102
XXI	Hoja de configuración de sitio Cunén .....	103
XXII	Hoja de configuración de sitio Ixcán.....	105
XXIII	Hoja de configuración de sitio Joyabaj .....	106
XXIV	Hoja de configuración de sitio Nebaj.....	108
XXV	Hoja de configuración de sitio Pachalum .....	109
XXVI	Hoja de configuración de sitio Patzité .....	111
XXVII	Hoja de configuración de sitio Sacapulas.....	112

XXVIII	Hoja de configuración de sitio San Andrés Sajcabajá .....	114
XXIX	Hoja de configuración de sitio San Antonio Ilotenango. ....	115
XXX	Hoja de configuración de sitio San Bartolomé Jocotenango.....	117
XXXI	Hoja de configuración de sitio San Juan Cotzál .....	118
XXXII	Hoja de configuración de sitio San Pedro Jocopilas. ....	120
XXXIII	Hoja de configuración de sitio Santa Cruz del Quiché.....	122
XXXIV	Hoja de configuración de sitio Uspantán .....	123
XXXV	Hoja de configuración de sitio Zacualpa.....	125
XXXVI	Configuración de portadoras.....	126
XXXVII	Resumen de equipos.....	126
XXXVIII	Repetidores de Transmisión existentes.....	128
XXXIX	Repetidoras nuevas de transmisión.....	129
XL	Resumen de enlaces de microonda.....	136
XLI	Características de las antenas de microonda.....	137
XLII	Características de los radios de microonda.....	137
XLIII	Costos de construcción de las estaciones base.....	139
XLIV	Costo de equipo de microondas.....	140
XLV	Costos de la red de transporte.....	140
XLVI	Costos de operación de una estación.....	142
XLVII	Costos del proyecto por fase.....	142
XLVIII	Flujo de caja.....	145
XLIX	Estimación del TIR y VNA.....	146



## GLOSARIO

<b>ARPU</b>	Del inglés Average Revenue per User. Ingreso promedio mensual generado por cada usuario.
<b>AUC</b>	Del inglés Authentication Center. Elemento de la red GSM cuyo propósito es verificar la autenticidad de los usuarios al momento de intentar establecer una llamada telefónica.
<b>BCCH</b>	Del inglés Broadcast Common Control Channel. Canal de señalización contenido dentro de la trama GSM, el cual funciona como un faro y es utilizado por las estaciones móviles para sincronizarse con la red.
<b>BIT</b>	Acrónimo para dígito binario. Está definido como la unidad mínima de información almacenada en una computadora. Puede tener dos estados lógicos: 1 ó 0.
<b>Bps</b>	Del inglés Bits per second. Bits por segundo. Unidad de medida de transferencia de información. Equivalente a un BIT por segundo.
<b>BSC</b>	Del inglés Base station controller. Elemento de la red GSM cuya función es establecer el control de tráfico y lógico de las estaciones base o radio bases.

<b>BSIC</b>	Del inglés Base Station Identity Code. Código de identificación de estación base. Código utilizado en las redes GSM para identificar a cada una de las estaciones base que la integran.
<b>BTS</b>	Del inglés Base Transceiver Station. Elemento de la red GSM encargado de establecer el enlace con las terminales móviles.
<b>CAC</b>	Acrónimo para costo de adquisición del cliente. Se refiere al costo promedio que el operador de telecomunicaciones debe erogar para adquirir un nuevo cliente.
<b>Canal</b>	Medio físico o lógico por el cual se transmite información.
<b>CDMA</b>	Del inglés Code Division Multiple Access. Acceso múltiple por división de código. Tecnología de acceso digital que asigna códigos ortogonales a cada usuario que ocupa un mismo canal de banda ancha.
<b>Celda</b>	También denominada sector. Unidad mínima de servicio o cobertura de un sistema de comunicación inalámbrica.
<b>Cobertura</b>	Área geográfica en la cual se puede establecer comunicación con una red de telefonía móvil celular.
<b>dBm</b>	Nivel absoluto de potencia expresado en decibelios y relativo a 1 miliwatt.

<b>Downlink</b>	También denominado enlace directo. Se refiere a la comunicación en un sistema celular o PCS que va desde la radio base hacia la estación móvil.
<b>EIR</b>	Del inglés Equipment identification register. Registro de identificación de equipos. Elemento de la red GSM consistente en una base de datos, la cual almacena los números de serie de las terminales o estaciones móviles que por motivos de seguridad no pueden adquirir servicio en la red.
<b>Erlang</b>	Unidad que permite cuantificar la intensidad de tráfico cursado, básicamente es la medida de la utilización de un recurso.
<b>Erlang B</b>	Modelo matemático utilizado para dimensionar recursos en los sistemas de telefonía. Se caracteriza por no considerar tiempos de espera cuando todos los recursos están ocupados.
<b>EVDO</b>	Del inglés Evolution data optimization. Tecnología de codificación de tercera generación basada en modo de acceso CDMA, cuya principal aplicación es la transmisión inalámbrica de datos. Se caracteriza por permitir velocidades de transferencia de hasta 2 Mbps.

<b>Frecuencia</b>	Propiedad de las ondas electromagnéticas. Se refiere al número de ciclos que completa en un segundo. Su unidad de medida es el <i>hert</i> .
<b>Frequency Hopping</b>	Salto en frecuencia. Técnica de reducción de la interferencia en los sistemas de comunicación, basado en el cambio de frecuencia de la portadora, según algoritmos preestablecidos.
<b>GHz</b>	Gigahertz. Unidad de medida de frecuencia equivalente a un millardo de ciclos por segundo.
<b>GSM</b>	Del inglés Global System for Mobile Communications. Sistema global para comunicaciones móviles. Tecnología móvil de origen europeo que utiliza el método de acceso TDMA en sistemas celulares y PCS.
<b>HLR</b>	Del inglés Home Location Register. Registro de localización doméstico. Elemento de la red móvil GSM, que consiste en una base de datos que almacena la información relativa a los suscriptores propios de la red.
<b>HSN</b>	Del inglés Hopping Sequence Number. Número de secuencia de salto. Parámetro utilizado en la técnica de salto en frecuencia, el cual establece el orden de salto sobre las frecuencias disponibles.

<b>Interfase</b>	Conjunto de elementos que permiten la interacción entre dos dispositivos o sistemas que manejan información de diferente forma o formato. Medio físico y/o lógico común y necesario de dos sistemas para intercambiar comunicación.
<b>Kbps</b>	Acrónimo de kilo bits por segundo. Equivalente a miles de bits por segundo.
<b>MAIO</b>	Parámetro utilizado en la técnica de salto en frecuencia, el cual indica el orden inicial en que deben asignarse las frecuencias disponibles para frequency hopping a cada portadora.
<b>Market Share</b>	Término en inglés que identifica a la porción del mercado adquirido por cada operador de telecomunicaciones.
<b>MSC</b>	Del inglés Mobile Switching Center. Central de conmutación. Oficina o lugar donde se efectúa la conmutación para la conexión entre dos abonados. En las redes de telefonía móvil, se denomina al elemento que efectúa la conexión entre abonados.
<b>PCS</b>	Del inglés Personal Communication Service. Servicios de comunicación personal. Nueva generación de tecnología inalámbrica, que introduce un rango de características y servicios, que superan aquellos disponibles en los sistemas de telefonía con tecnologías celulares analógicas

o digitales. Se denomina así a la porción del espectro radioeléctrico ubicado entre las frecuencias de 1850 y 1990 MHz.

**PDH** Del inglés Plesiochronous digital hierarchy. Jerarquía digital plesiócrona.

**PEA** Población económicamente activa. Porción de la población la cual genera ingresos y puede ser considerada como consumidor.

**PIB** Producto interno bruto.

**Portadora** Se denomina así a la unidad de radio GSM compuesta por 8 canales físicos o time slots y a la cual se le asigna una frecuencia.

**RBS** Del inglés Radio Base Station. Véase BTS.

**Red Celular** Conjunto de elementos que permiten la comunicación móvil inalámbrica. Su nombre se deriva de la representación hexagonal de sus unidades básicas de servicio también denominadas celdas.

**SDCCH** Del inglés Stand Alone Dedicated Control Channel. Canal dedicado de control, incluido en la trama GSM, el cual se encarga de transportar la señalización durante el establecimiento de la llamada.

<b>Sector</b>	Véase celda.
<b>SIT</b>	Superintendencia de Telecomunicaciones. Ente regulador en materia de las telecomunicaciones en Guatemala.
<b>TDMA</b>	Del inglés Time division multiple access. Acceso múltiple por división de tiempo. Tecnología de acceso digital que asigna compuertas de tiempo o <i>time slots</i> distintas a cada usuario.
<b>TIR</b>	Tasa interna de retorno. Se refiere a la tasa de retorno de una inversión.
<b>TRC</b>	Del inglés Transcoder. Transcodificador. Elemento de la red GSM encargado de realizar la conversión analógica/digital de la voz.
<b>Uplink</b>	También denominado enlace reverso. Se refiere a la comunicación en un sistema celular o PCS que va desde la estación móvil hacia la radio base.
<b>VLR</b>	Del inglés Visitor Location Register. Elemento de la red GSM consistente en una base de datos que contiene la información relativa a las suscripciones de los usuarios visitantes en la red.

**VNA**

Valor neto actual. Término financiero utilizado para estimar el valor neto actual de rentabilidad de una inversión.

## RESUMEN

A pesar de que en Guatemala se han desarrollado las comunicaciones telefónicas y un gran número de habitantes tiene acceso a las mismas, existen poblaciones a las cuales aún no llegan los beneficios de las nuevas tecnologías que ofrecen los servicios de comunicación de voz, larga distancia internacional, mensajes de texto y servicios de datos como acceso a Internet inalámbrico.

Entre las poblaciones que han sido relegadas están la mayoría de municipios del departamento de El Quiché. Por tanto, Telefonica Moviles ha volcado parte de sus recursos para extender los servicios antes mencionados a las cabeceras municipales de todo el departamento.

Para poder desarrollar un proyecto de esta magnitud es necesario hacer una planificación detallada del mismo, la cual ha sido sustentada con base a información socioeconómica, geográfica y estadística del departamento, así como desarrollando los procedimientos de diseño de redes y finalmente estimando los costos de manera que sea rentable y pueda ser factible este proyecto.

El reto principal ha sido planificar solventando circunstancias que hasta ahora han sido las limitantes que tienen incomunicado a este departamento, de modo que este es el objeto principal del presente trabajo de graduación.



## OBJETIVOS

- **General**

Documentar, analizar y establecer los criterios y procedimientos para el diseño de una red de telefonía móvil celular y su cuantificación económica.

- **Específicos**

1. Describir las condiciones socio-económicas, geográficas y estadísticas, sobre las que se desarrolla el proyecto de expansión de la red de telefonía móvil GSM, para el departamento de El Quiché.
2. Describir conceptos y definiciones elementales para la comprensión de una red móvil celular y su respectiva red de transporte.
3. Desarrollar el diseño de la expansión de una red de telefonía móvil GSM y su respectiva red de transporte para un mercado específico.
4. Cuantificar la inversión y rentabilidad del proyecto a desarrollar.



## INTRODUCCIÓN

Acercar a las personas y hacerlas partícipes de los actuales medios de comunicación es parte del empuje tecnológico, sobre el cual se fundamenta el movimiento socio-económico de una región.

Para llegar a este momento histórico, en Guatemala han ocurrido una serie de circunstancias y procesos, bajo los cuales han surgido beneficios, tales como la apertura de la telefonía y adversidades como los costos de dicho servicio.

Surgiendo al principio de dicha apertura, costos comparativamente altos respecto a los ofrecidos por la otrora empresa estatal, sin embargo, como parte del proceso de apertura, los costos actuales se han acomodado al existir teóricamente competencia en el mercado por la participación de más operadores de servicios de telecomunicaciones.

De tal suerte, actualmente se cuenta con tres empresas privadas, de las cuales Telefonica Moviles compite por acercarse a los usuarios y trata de llegar a ellos. Esta evolución ha llegado a tal punto que se pretende penetrar a un mercado que hasta ahora ha estado relegado a las telecomunicaciones en el país.

Enfocada en este propósito, esta empresa apunta a expandir la cobertura en áreas o regiones del país tal como el departamento de El Quiché que a la fecha esta casi completamente incomunicado telefónicamente hablando.

Para esto se pretende a través del aporte del presente trabajo de graduación, mostrar las bases socio-económicas sobre las que se analizan los probables clientes, se señalan los aspectos o rasgos geográficos sobre los que ha de construirse toda una infraestructura de telecomunicaciones, seguidamente se profundiza en los lineamientos y/o procesos de diseño de una nueva red de telefonía móvil GSM, para finalmente complementar el trabajo cuantificando los costos de implementación así como los costos de operación y mantenimiento de dicha red.

# **1. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROYECTO**

## **1.1 Información general de la empresa**

Telefónica es una de las empresas de telecomunicaciones líder a nivel mundial, presente en Europa, África y Latinoamérica. El Grupo Telefónica ha concentrado su negocio en las telecomunicaciones, impulsando su presencia en la última década en el mercado de telefonía móvil.

Telefónica Móviles Guatemala, S. A., es una empresa privada que presta servicios de telecomunicaciones en Guatemala desde 1999. Por razones de brevedad, en adelante será llamada solamente Telefónica.

### **1.1.1 Reseña histórica**

En 1924 se constituyó en Madrid la Compañía Telefónica Nacional de España como sociedad anónima y por ende empresa privada. En 1945 el Gobierno decidió que las acciones de la CTNE propiedad de la International Telephone and Telegraph Corporation pasaran a ser propiedad del Estado.

Durante las décadas de los años 50's a 80's Telefonica se consolida y sienta las bases para desarrollar una empresa moderna de telecomunicaciones, creciendo en abonados de manera acelerada y participando activamente en el tráfico internacional a través de cables submarinos y luego con enlaces satelitales de alta capacidad para la época. Posteriormente, durante el inicio de la década de los años 90's empieza a funcionar en algunas regiones de

España los primeros aparatos con un nuevo sistema de telefonía rural por Acceso Celular (TRAC).

Ya en 1994 se iniciaba la implementación de la infraestructura de MoviStar y en 1995 Telefónica iniciaría en España con el servicio de telefonía móvil digital. Al final de los 90`s Telefonica se lanza a Latinoamérica, adquiriendo inicialmente un sistema Brasileño de telefonía.

Es de esta iniciativa y aprovechando las circunstancias de apertura de las telecomunicaciones en Guatemala que Telefónica inicia operaciones en 1999 bajo el nombre de Londrina, adquiriendo los activos de una empresa de servicios de localización personal denominada Telescucha.

Ese mismo año la empresa cambia su razón social a Telefónica Centroamérica Guatemala, S. A. y decide manejar las operaciones de Guatemala y El Salvador a nivel regional. Monta la infraestructura para desplegar una red de telefonía móvil celular que compitiera con el operador existente (Comcel) y con otra igualmente recién surgida (PCS Digital) para dar cobertura a los principales municipios y carreteras del país.

En el año 2004, el grupo Telefónica Móviles realiza la compra de los activos de las operadoras latinoamericanas de la empresa Estadounidense BellSouth. Con esto Telefónica Móviles se consolida como uno de los más grandes operadores en América latina.

En el año 2005 se finaliza la primera fase de la instalación de una nueva red móvil celular con tecnología GSM. También se lanza una red móvil de banda ancha para la transmisión de datos y acceso a Internet con tecnología CDMA 1xEVDO.

### **1.1.2 Servicios que presta Telefónica**

Telefónica es un operador que ofrece servicios y soluciones integradas que satisfacen las expectativas y necesidades de comunicación de sus clientes y en Guatemala ha orientado su modelo de negocio a satisfacer las necesidades de comunicación en mercados de telefonía móvil y telefonía fija. Aunado a estos ha desarrollado negocios de telefonía fija básica, telefonía de larga distancia nacional e internacional, telefonía de uso público y radio búsqueda. En el ámbito de servicios de datos, Internet, ISP, ADSL y recientemente banda ancha inalámbrica.

La empresa se basa en la infraestructura tecnológica como medio para que los clientes puedan contar con sistemas que le den continua y confiable disponibilidad de los diferentes servicios que presta, voz, datos, sistemas de información y telecomunicaciones entre otros.

- Telefonía fija: Este servicio está orientado al mercado residencial y comercial tanto para pequeños, medianos y grandes clientes. La conexión de este servicio se realiza a través de líneas de cobre principalmente.
- Telefonía pública: Telefónica introdujo en Guatemala el servicio con tarjetas prepagadas. Actualmente, se cuenta con teléfonos monederos. La conexión de estos aparatos se realiza a través de líneas de cobre y recientemente vía inalámbrica.
- Larga distancia internacional: Este servicio es prestado a través de la telefonía fija y móvil con capacidad de interconexión a todo el mundo.

- Redes privadas virtuales de voz y datos: Este servicio esta disponible para aquellas empresas que requieren canalización dedicada tanto de voz como datos y se realiza a través de enlaces de microonda, fibra y/o cobre.
- Servicios de Internet: Al igual que los servicios de redes privadas, la interconexión a Internet se puede dar por medio de enlaces de microondas, fibra y/o cobre. Recientemente se esta prestando este vía inalámbrica a través de las redes de tecnología GSM (GPRS) y banda ancha con CDMA (EVDO-1X).
- Telefonía móvil celular: Es a través de Telefonica Moviles y su marca Movistar que se presta uno de los servicios más ágiles y de aceptación popular. Este medio resulta cómodo y confiable al tener disponibilidad de servicios extras tales como, Mensajes de Texto, Buzón de Voz, Conferencia tripartitas, Llamada en Espera, Desvío de Llamada, Identificación de Llamada, Call Center, Servicio de Asistencia \*911 y acceso a servicios inalámbricos de datos como, WAP è Internet.

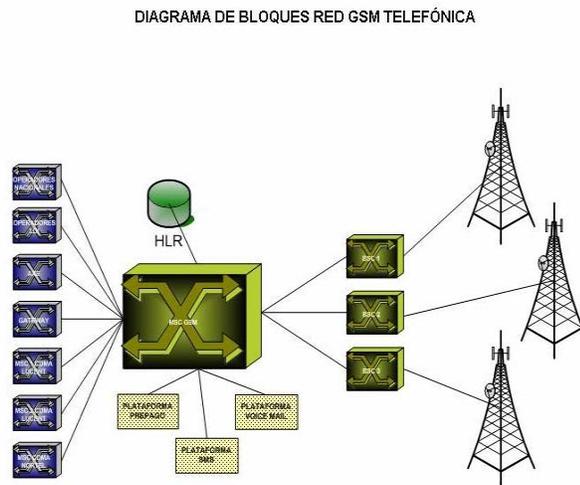
El presente trabajo se ha de centrar en el servicio de Telefonía Móvil celular basado en la tecnología GSM y marcado dentro de la empresa como su principal línea de negocios.

En función de esta premisa, Telefonica ha decidido implementar y continuar la ampliación de esta red para cubrir distintas regiones del país que actualmente no cuentan con este servicio y dentro de las que cabe mencionar el departamento de El Quiché.

### 1.1.3 Descripción de la red de telefonía móvil

En términos generales una red se compone de los siguientes elementos: Central de Conmutación (MSC) Base de Datos para registro y control de abonados (HLR), Plataformas de servicios especiales como Abonados Prepagados, Servicio de Mensajes Cortos (SMS) y Servicio de Correo de voz, Sistema de operación y gestión de Radio Bases (BSC), Circuitos de Interconexión con otras centrales de conmutación y circuitos de interconexión con otros operadores (PSTN).

**Figura 1. Componentes de una red celular GSM.**



Actualmente, Telefónica opera tres redes de telefonía móvil celular.

La primera red opera con equipo marca Lucent Technologies en la banda B del espectro PCS con tecnología CDMA IS-95 de primera generación. Esta red cuenta con 216 radio bases tipo Mini Cell II distribuidas en ciudades importantes, municipios y carreteras principales del país y dos centrales de conmutación telefónica tipo 5ESS.

La segunda red opera con equipo marca Nortel Networks en la banda C del espectro PCS con tecnología CDMA 1XRTT de tercera generación. Esta red fue instalada y operada inicialmente por BellSouth Guatemala, pero mediante la adquisición de los derechos y bienes en toda Latinoamérica pasó a ser parte de Telefonica.

Esta red cuenta con 178 radio bases del tipo Metro Cell controladas por dos sistemas de operación y gestión denominados BSC (Base Station Controller) y una central de conmutación telefonica. Paralelamente esta red ha desplegado la red de datos inalámbrica de banda ancha denominada EV-DO 1X.

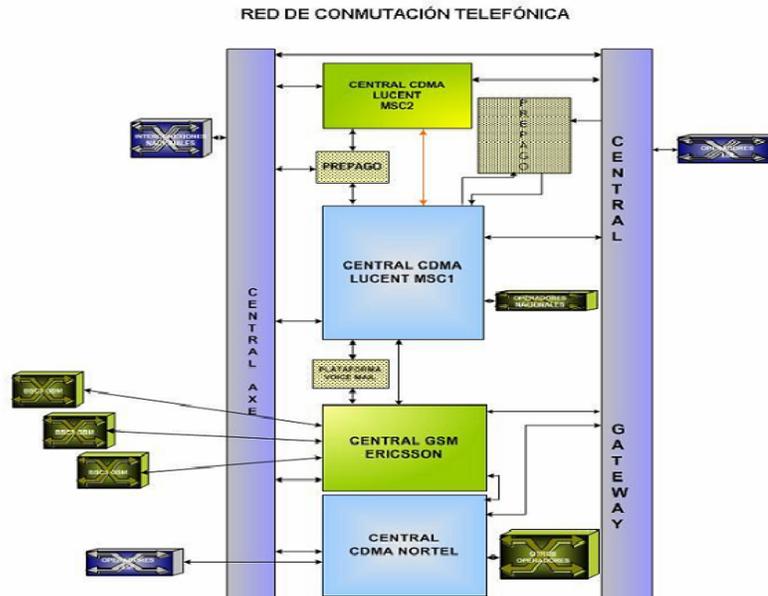
La tercera red opera con equipo marca Ericsson en las bandas B, C y D con tecnología GSM. La fase inicial se ha montado sobre la infraestructura existente de la primera red descrita (Lucent Technologies) y por ende la cobertura y diseño es similar a esta a manera de cubrir un mercado también ya penetrado por Telefonica.

Es de hacer notar que esta red ha sido elegida por Telefonica para continuar el despliegue de nuevos sitios para dar mayor capacidad y cobertura en varias regiones del país. Aprovechando esta coyuntura la compañía continúa una segunda fase de despliegue de sitios sobre la infraestructura de los ya existentes de la recién adquirida red BellSouth.

Estas ampliaciones actualmente no satisfacen la demanda de servicios de telefonía móvil celular en regiones del país aun no cubiertas por Telefonica. De manera que el despliegue continuará con la adquisición de nuevos sitios para los que se debe de cuantificar costos, capacidades y diseñar los mismos con el fin de integrarlos a la red existente. A la fecha la red GSM cuenta con 300 radio

bases controladas por dos sistemas de operación y gestión denominados BSC (Base Station Controller) y una central de conmutación telefónica (MSC).

**Figura 2. Detalle de la Red de Conmutación de Telefonica**



El equipamiento específico de la red GSM Ericsson se compone a nivel de radio bases de tres tipos, las de alta capacidad instalables en interiores denominada modelo 2206. Radio bases instalables en exteriores también de alta capacidad, denominadas modelo 2106 y por ultimo las radio bases de baja capacidad instalables únicamente en interiores, modelo 2207.

Las radio bases de alta capacidad puede servir hasta 87 usuarios de forma simultanea, mientras que las radio bases de baja capacidad, únicamente 42 usuarios simultáneos. Las redes anteriormente descritas cuentan con equipos de transporte que permiten su interconexión para propósitos de operación y gestión así como para llevar el tráfico de voz y datos.





## **1.2 Información general de El Quiché**

El departamento de El Quiché fue creado por decreto de la Asamblea Constituyente del 12 de octubre de 1825. Su población la componen diversas etnias con idiomas propios y culturas propias, esto hace del departamento una región de carácter multiétnica, pluricultural y multilingüe.

De esta cuenta, los idiomas hablados son, El Uspanteco se habla en el municipio de Uspantán, Ixil en Nebaj, Chajul y San Juan Cotzal, Sacapulteco en Sacapulas, Quekchí en la parte norte del país y en el sur el Quiché. El español se considera como segunda lengua en toda la región y no es dominado por la mayoría.

Es de hacer notar que el conflicto armado interno que tubo lugar entre años 1960 a 1996 afectó especialmente a los poblados del norte, Triángulo Ixil e Ixcán y actualmente son regiones que deben ser integradas al tanto al departamento como al país.

### **1.2.1 Análisis demográfico**

La información demográfica será utilizada como guía para definir los diferentes alcances y establecer las necesidades de cada población en cuanto a la cuantificación de capacidad y recursos necesarios de la ampliación de la red en El Quiché.

Los datos de referencia de población, patrones de ocupación y trabajo, son descritos a continuación:

- Datos de población

Según el Instituto Nacional de Estadística para el año 2004, la población total del departamento se registro con 645,054 habitantes, de los cuales 537,975 (83.40%) son indígenas y 107,079 (16.60%) no indígenas. El departamento contribuye aproximadamente con un 5.8% de la población del país. La distribución porcentual de la población por genero es aproximadamente igual y la distribución de población es 24.7% urbana y 75.3% rural. La densidad de población es de 78 habitantes por Km2.

El Quiché está conformado por 21 municipios. La población por género se distribuye como se muestra en la tabla I.

**Tabla I. Población Municipios del departamento de El Quiché.**

No.	Municipio	Habitantes	Hombres	Mujeres
1	Canillá	8,316	4,339	3,977
2	Chapul	54,041	27,850	26,191
3	Chicamán	23,498	11,745	11,753
4	Chiché	16,883	8,212	8,671
5	Chichicastenango	104,277	52,266	52,011
6	Chinique	6,814	3,419	3,395
7	Cunén	25,189	12,598	12,591
8	Ixcán	78,673	39,290	39,383
9	Joyabaj	41,820	21,270	20,550
10	Nebaj	61,764	30,825	30,939
11	Pachalum	6,574	3,299	3,275
12	Patzite	4,954	2,425	2,529
13	Sacapulas	35,249	17,792	17,457
14	San Andrés Sajcabajá	17,315	8,878	8,437
15	San Antonio Ilotenango	22,029	10,906	11,123
16	San Bartolomé Jocotenango	6,038	3,013	3,025
17	San Juan Costal	19,700	9,915	9,785
18	San Pedro Jocopilas	18,789	9,303	9,486
19	Santa Cruz	46,127	22,826	23,301
20	Uspantán	35,155	17,722	17,433
21	Zacualpa	11,849	5,921	5,928
	<b>Total Depto. El Quiché</b>	<b>645,054</b>	<b>323,814</b>	<b>321,240</b>

Fuente. Instituto Nacional de Estadística, INE.

La distribución de la población por edades se muestra en la tabla II.

**Tabla II. Distribución por edades.**

Rango Edades (Años)	Porcentaje de Población
0 a 14	43%
15 a 64	53%
Más de 65	3%

Fuente. Instituto Nacional de Estadística, INE.

- Patrones de ocupación y trabajo

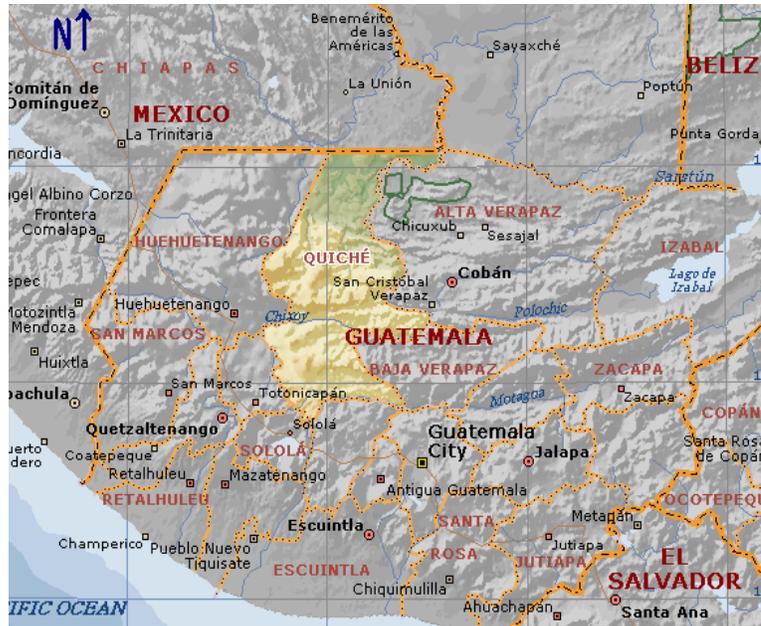
En términos generales en el departamento de El Quiché la población ocupada esta constituida por trabajadores no calificados y superan el 50% de la PEA.

## **1.2.2 Análisis geográfico**

### **1.2.2.1 Ubicación y Extensión territorial**

El Quiché por su tamaño es el tercer departamento de la republica y se encuentra situado en la región Nor-Occidente del país. Se ubica en la latitud 15° 02' 12" y longitud 91° 07' 00", y cuenta con una extensión territorial de 8,378 kilómetros cuadrados.

**Figura 5. Mapa de ubicación del Departamento de El Quiché.**



### **1.2.2.2 Límites**

Limita al Norte con México; al Sur con los departamentos de Chimaltenango y Sololá; al Este con los departamentos de Alta Verapaz y Baja Verapaz; y al Oeste con los departamentos de Totonicapán y Huehuetenango.

### **1.2.2.3 Fisiografía**

El departamento de El Quiché se encuentra dividido en cuatro regiones fisiográficas:

#### **1. Altiplano Central**

Con una superficie de 3,351 Km<sup>2</sup>, representa el 40% de la superficie total.

## 2. Cerros de Calizas

Compuesta por cerros con pendientes fuertemente onduladas a inclinadas, en ella predomina la textura de suelo "karst".

## 3. Tierras Bajas del Petén Caribe

Es una planicie ancha, compuesta de materiales sedimentarios.

## 4. Montañas Volcánicas

Es una cadena de altas montañas que se extienden hacia el oeste desde el departamento de Chimaltenango, con altitudes que alcanzan los 2,400 metros sobre el nivel del mar.

### **1.2.2.4 Orografía**

Este departamento está atravesado por tres sistemas orográficos:

1. La Sierra de Chamá al norte.
2. Los Cuchumatanes al centro.
3. La sierra de Chuacús al sur.

Dentro de estos sistemas existen rasgos montañosos y cerros que se listan a continuación:



- Río Chixoy o Negro que recorre los municipios de Sacapulas, Cunén, San - Andrés Sajcabajá, Uspantán y Canilla.
- Río Blanco y Pajarito en Sacapulas.
- Río Azul y Los Encuentros en Uspantán.
- Río Sibacá y río Cacabaj en Chinique.
- Río Grande o Motagua en Chiché.

#### **1.2.2.6 Clima**

En El Quiche se manifiestan diferentes condiciones climáticas (fría, templada y cálida), debido a su topografía y diferencias de altitud, las que van desde los 500 a los 3,000 metros sobre el nivel del mar. Las temperaturas oscilan entre 12 y 18° °C en las partes altas y en las regiones cálidas como Ixcán, Sacapulas el promedio está entre 24 a 30° °C.

#### **1.2.3 Análisis de mercado**

Tomando en cuenta aspectos demográficos del departamento de El Quiché, éste se considera como un mercado potencial, apto para complementar un sistema de telecomunicaciones que actualmente solo existe en dos de los veintiún municipios con los que cuenta el departamento.

Los posibles usuarios con capacidad de adquirir y mantener el servicio serían aquellos que son parte de la Población Económicamente Activa (PEA), involucrados en las diversas actividades económicas que se desarrollan en la región a través de la explotación de la tierra por medio de cultivos, pastoreo de ganado, nuevas urbanizaciones, conservación de suelos, explotación racional de bosques naturales, bosques implantados, minería, etc. teniéndose de esta

manera la oportunidad de poder determinar cual es la producción de este departamento y como se desarrolla su economía.

Registros estadísticos indican que el Producto Interno Bruto (PIB) anual departamental durante el periodo del año 2000 al 2003 ha sido de 2.6%.

El departamento de El Quiché tiene una economía agrícola de subsistencia, con 837,800 hectáreas de las que el 11.7% es de vocación agrícola (en especial las ubicadas en Santa Cruz de El Quiché, Chichicastenango, San Juan Cotzal y Chiche); sin embargo, la mayoría del territorio es utilizado para la producción forestal (47.0%), la producción pecuaria utiliza el (26.2%) y para usos mixtos (15.1%).

En este departamento la producción industrial no es representativa, existiendo solamente algún tipo de producción artesanal-textil en Chichicastenango. Las ramas prioritarias de actividad económica a que se dedica la población económicamente activa de El Quiché son la agricultura (77.2%), el comercio (16.4%), y la industria manufacturera (6.4%).

El PEA para cada municipio cambia de acuerdo a su actividad económica. El porcentaje promedio para el departamento de El Quiché es 25.07%.

Paralelamente, se ha considerado el porcentaje de penetración que evaluó el área comercial de Telefonica en la que la empresa podría participar en el mercado de la telefonía móvil celular en la región.

El valor de participación es del 28% (*market share*), y considera la presencia de otros operadores de telefonía. El cálculo de los usuarios potenciales se realiza como se muestra en la ecuación (1.1)

$$\text{Usuarios} = \frac{\text{Habitantes} \times \text{PEA}}{100} \times \frac{\text{Market share}}{100} \quad (1.1)$$

En base a la fórmula anterior se muestra en la tabla 3 el resultado del cálculo de los usuarios potenciales en los diferentes municipios de El Quiché.

**Tabla III. Usuarios potenciales de los municipios de El Quiché.**

No.	Municipio	Habitantes	Habitantes Urb.	PEA	Usuarios Potenciales
1	Canillá	8,316	2,495	625	175
2	Chajul	54,041	16,212	4,064	1,138
3	Chicamán	23,498	7,049	1,767	495
4	Chiché	16,883	5,065	1,270	356
5	Chichicastenango	104,277	31,283	7,843	2,196
6	Chinique	6,814	2,044	512	143
7	Cunén	25,189	7,557	1,894	530
8	Ixcán	78,673	23,602	5,917	1,657
9	Joyabaj	41,820	12,546	3,145	881
10	Nebaj	61,764	18,529	4,645	1,301
11	Pachalum	6,574	1,972	494	138
12	Patzité	4,954	1,486	373	104
13	Sacapulas	35,249	10,575	2,651	742
14	San Andrés Sajcabajá	17,315	5,195	1,302	365
15	San Antonio Ilotenango	22,029	6,609	1,657	464
16	San Bartolomé Jocotenango	6,038	1,811	454	127
17	San Juan Cotzal	19,700	5,910	1,482	415
18	San Pedro Jocopilas	18,789	5,637	1,413	396
19	Santa Cruz Del Quiché	46,127	13,838	3,469	971
20	Uspantán	35,155	10,547	2,644	740
21	Zacualpa	11,849	3,555	891	250
	<b>Totales Depto. El Quiche</b>	<b>645,054</b>	<b>193,516.20</b>	<b>48,515</b>	<b>13,584.06</b>

## **2. CONCEPTOS Y DEFINICIONES**

### **2.1 Definiciones elementales**

A continuación se describen los conceptos y definiciones elementales que deben estar claros al referirse a la telefonía móvil celular para comprender el rol e integración de cada uno al sistema.

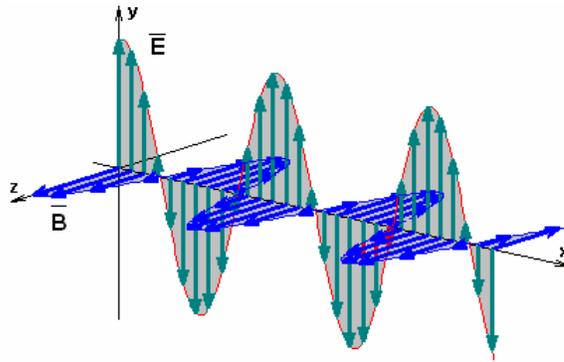
#### **2.1.1 Ondas electromagnéticas**

La radiación electromagnética es una combinación de campos eléctricos y magnéticos oscilantes y perpendiculares entre sí que se propagan a través del espacio transportando energía de un lugar a otro. A diferencia de otros tipos de onda, como el sonido, que necesitan un medio material para propagarse, la radiación electromagnética se puede propagar en el vacío.

Maxwell desarrolló ecuaciones de las que se desprende que un campo eléctrico variante en el tiempo genera un campo magnético y viceversa, la variación temporal del campo magnético genera un campo eléctrico. Se puede visualizar la radiación electromagnética como dos campos que se generan mutuamente, por eso no necesitan ningún medio material para propagarse.

Las ecuaciones de Maxwell también predicen la velocidad de propagación en el vacío ( $c$  con valor de 299,792 Km/s) y dirección de propagación.

**Figura 7. Onda electromagnética.**



Dependiendo del fenómeno estudiado, la radiación electromagnética se puede considerar como una serie de ondas ó como partículas, llamadas fotones. Esta dualidad onda-corpúsculo hace que cada fotón tenga una energía proporcional a la frecuencia de la onda asociada, dada por la relación de Planck.

$$E = h \nu \quad (2.1)$$

donde,

- E      Energía del fotón.
- h      Constante de Planck
- $\nu$       Frecuencia de la onda.

Así mismo, considerando la radiación electromagnética como onda, la longitud de onda  $\lambda$  y la frecuencia de oscilación  $\nu$  están relacionadas por una constante, la velocidad de la luz en el medio (c en el vacío).

$$c = \lambda \nu \quad (2.2)$$

A mayor longitud de onda menor frecuencia y menor energía según la relación de Planck.

Una onda es una perturbación que se propaga a través del espacio y transporta energía. Matemáticamente se dice que una función para cualquiera posición y el tiempo  $\psi(\vec{r}, t)$  es una onda si cumple con la ecuación de onda:

$$\nabla^2 \psi(\vec{r}, t) = \frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 \psi}{\partial t^2}(\vec{r}, t) \quad (2.3)$$

donde,

$v$             velocidad de propagación de la onda.

Las ondas se clasifican en función de su naturaleza, mecánica o electromagnética y sus propiedades son:

- Reflexión: Ocurre cuando una onda, al encontrarse con un nuevo medio que no puede atravesar, cambia de dirección.
- Refracción: Ocurre cuando una onda cambia de dirección al entrar en un nuevo medio en el que viaja a distinta velocidad.

La velocidad de propagación de la radiación electromagnética en el vacío es  $c$  y la ecuación que la describe es:

$$c = 1/\sqrt{\epsilon_0 \mu_0} \quad (2.4)$$

donde,

$\epsilon_0$             permitividad eléctrica del vacío

$\mu_0$             permeabilidad magnética del vacío

En un medio material, la permitividad eléctrica  $\epsilon$  tiene un valor diferente al del vacío, lo mismo que le ocurre a la permeabilidad magnética  $\mu$  y por tanto la velocidad de la luz en ese medio será diferente a  $c$ .

- Difracción: ocurre cuando una onda al chocar con el borde de un obstáculo deja de ir en línea recta para rodearlo.
- Interferencia: Ocurre cuando dos ondas se combinan al encontrarse en el mismo punto del espacio.

### 2.1.2 Frecuencia

En física el término frecuencia se utiliza para indicar la velocidad de repetición de cualquier fenómeno periódico. Se define como el número de veces que se repite un fenómeno en la unidad de tiempo. La frecuencia en los fenómenos ondulatorios, tales como el sonido, las ondas electromagnéticas, señales eléctricas u otras ondas, expresa el número de ciclos que se repite la onda por segundo.

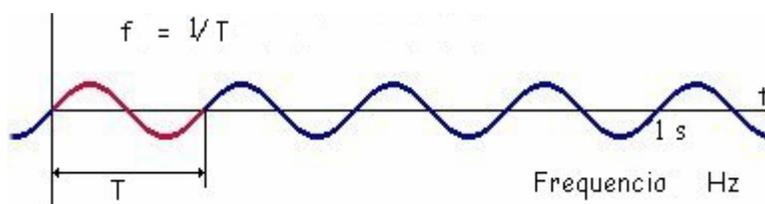
En unidades del Sistema Internacional (SI), el resultado se mide en Hertzios (Hz), 1 Hz significa un ciclo (u onda) por segundo. Alternativamente, la frecuencia tiene una relación inversa con el concepto de longitud de onda (distancia entre dos picos) de tal manera que la frecuencia es igual a la velocidad de desplazamiento de la onda dividida por la longitud de onda.

$$f = 1 / T \quad (2.5)$$

donde,

T periodo, en segundos.

**Figura 8. Frecuencia.**

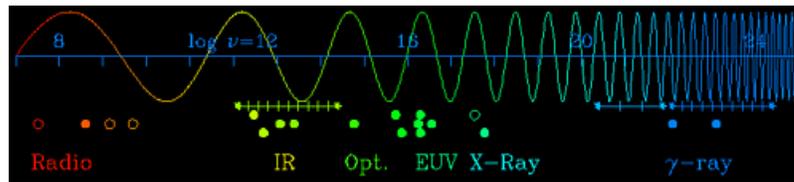


### 2.1.3 Espectro de frecuencias

El espectro electromagnético es una amplia gama de frecuencias o de longitudes de ondas y pueden clasificarse según su principal fuente de producción. La clasificación no tiene límites precisos.

Estas van desde las de menor longitud de onda en el orden de picómetros, como son los rayos cósmicos, los rayos gamma y los rayos X, pasando por la luz ultravioleta, la luz visible y los rayos infrarrojos, hasta las ondas electromagnéticas de mayor longitud de onda, como son las ondas de radio.

**Figura 9. Espectro electromagnético.**



La tabla muestra el espectro electromagnético, con sus longitudes de onda, frecuencias y energías de fotón.

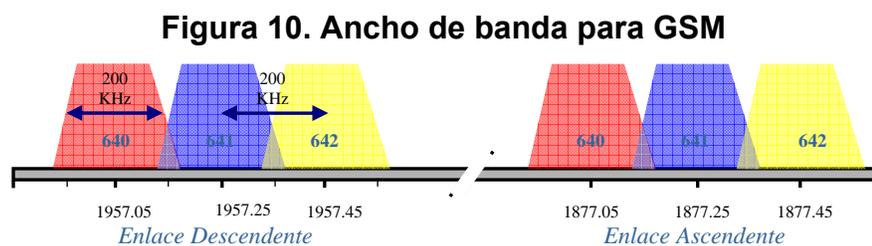
**Tabla IV. Rango de frecuencias del espectro electromagnético.**

Región Espectral	Longitud de Onda (m)	Frecuencia (Hz)	Energía (J)
Radio	$> 1 \times 10^{-1}$	$< 3 \times 10^9$	$< 2 \times 10^{-24}$
Microonda	$1 \times 10^{-3} - 1 \times 10^{-1}$	$3 \times 10^9 - 3 \times 10^{11}$	$2 \times 10^{-24} - 2 \times 10^{-22}$
Infrarrojo	$7 \times 10^{-7} - 1 \times 10^{-3}$	$3 \times 10^{11} - 4 \times 10^{14}$	$2 \times 10^{-22} - 3 \times 10^{-19}$
Óptico	$4 \times 10^{-7} - 7 \times 10^{-7}$	$4 \times 10^{14} - 7.5 \times 10^{14}$	$3 \times 10^{-19} - 5 \times 10^{-19}$
UV	$1 \times 10^{-8} - 4 \times 10^{-7}$	$7.5 \times 10^{14} - 3 \times 10^{16}$	$5 \times 10^{-19} - 2 \times 10^{-17}$
Rayos X	$1 \times 10^{-11} - 1 \times 10^{-8}$	$3 \times 10^{16} - 3 \times 10^{19}$	$2 \times 10^{-17} - 2 \times 10^{-14}$
Rayos Gamma	$< 1 \times 10^{-11}$	$> 3 \times 10^{19}$	$> 2 \times 10^{-14}$

### 2.1.4 Ancho de banda

El ancho de banda es la diferencia entre la frecuencia superior e inferior que se puede transmitir con atenuación pero sin distorsión por un medio físico empleado como canal de comunicación. Este se refiere entonces a un espacio en el eje de frecuencias del espectro electromagnético en el que se encuentra concentrada la mayor energía de la señal. En la práctica mide su capacidad de comunicación y/o velocidad de transmisión de datos.

El ancho de banda de una señal transmitida es una medida del rango de frecuencias que ocupa la señal. Las señales de bajo ancho de banda son menos susceptibles a la interferencia por ruido que las señales de mayor ancho de banda. En la telefonía móvil celular con estándar GSM el ancho de banda es de 200Khz. De igual forma la distancia entre portadoras es de 200Khz.



### 2.1.5 Erlang

La ocupación por parte de los usuarios de un determinado medio se denomina tráfico. En este caso el medio es la telefonía móvil celular y por ende se denominara tráfico telefónico. Los usuarios de este servicio generan llamadas telefónicas y el número de estas realizadas en un periodo de tiempo se denota como flujo telefónico y las llamadas simultáneas en un instante dado es la densidad de tráfico.

La densidad de tráfico promedio en un periodo determinado es definida como intensidad de tráfico. La unidad de medición de la intensidad se denomina Erlang y la definición equivalente es el uso total de un circuito telefónico durante un intervalo de tiempo dividido por el intervalo de tiempo, donde el intervalo de referencia se ha establecido en 60 minutos. De modo que indica la ocupación continua, al 100%, de un circuito telefónico durante una hora (60 min.).

### **2.1.6 Estación Base**

Es la encargada de proporcionar y gestionar la interfaz de radio entre las estaciones móviles y la estación de control (BSC) y conmutación (MSC). Una estación base es conocida como BTS (Base Transceiver Station) y está conformado por, unidad de control, unidad de radio, unidad de canales, antenas sectoriales y la unidad de energía.

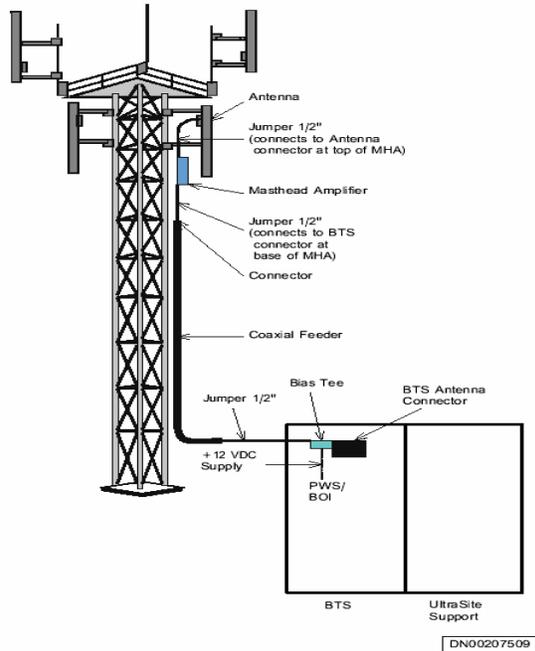
Los canales de tráfico llevan las llamadas de voz y el control se realiza a través de uno o más canales de señalización para la gestión de los recursos radio y la movilidad de los móviles a ella conectados.

El interfaz radio en GSM utiliza Acceso Múltiple por División en el Tiempo (TDMA), además de utilizar el Salto en Frecuencia (FH, Frequency Hopping).

El concepto básico es que la unidad de transmisión es una serie de bits modulados y se denomina ráfaga. Las ráfagas se envían en ventanas de frecuencia y tiempo que denominamos ranuras o slots.

Las frecuencias centrales de los slots se sitúan cada 200 Khz. en la banda de frecuencias del sistema (formato FDMA), y ocurren durante 0.577ms, o más exactamente 15/26 ms. (formato TDMA).

**Figura 11. Estación Base**



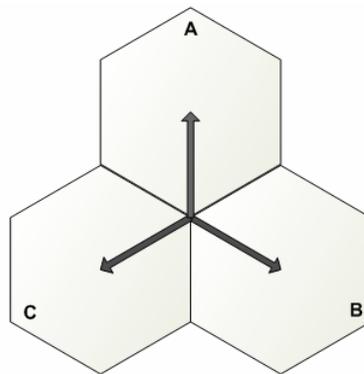
### 2.1.7 Celda

El concepto es función del área y demanda de tráfico a cubrir o servir. De modo que la división de una zona geográfica en pequeñas regiones define la unidad básica de cobertura llamada celda.

Si se asume que una pequeña región es cubierta por un elemento omnidireccional de propagación, geométricamente cubrirá un área circular, sin embargo por situaciones prácticas si el elemento de propagación se asume como directivo se presupone que geométricamente cubriría un área restringida definida por un hexágono, se ha establecido que dicha figura puede ajustarse a configuraciones teóricas continuas que definen límites restringidos por si mismos.

Genéricamente, una estación base tiene tres elementos directivos de propagación denominados sectores, donde cada uno cubre su propio objetivo. Estos están teóricamente separados  $120^\circ$  entre sí y conformarían un arreglo hexagonal conectado entre sí.

**Figura 12. Representación de una celda sectorial.**

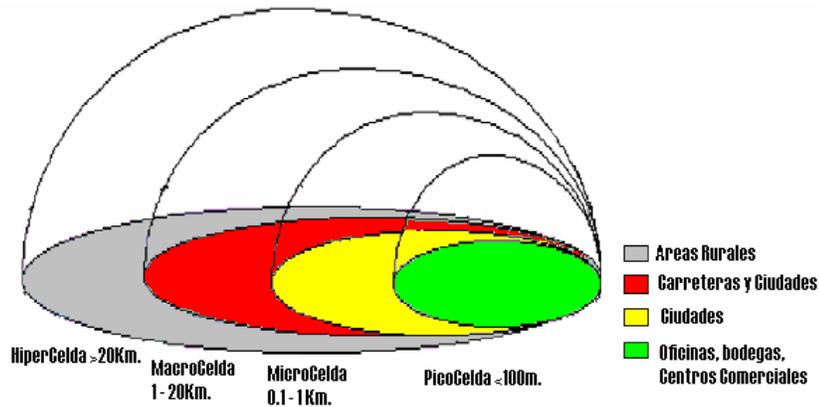


Una celda básica contiene varios canales de tráfico y puede tener uno o más canales de señalización o control para la gestión de los recursos radio y la movilidad de usuarios a ella conectados.

Las celdas pueden ser clasificadas en función del área y objetivo de cobertura, de la siguiente forma:

1. Hiper-celdas: Para entornos rurales y carreteras.
2. Macro-celdas: Destinadas a áreas urbanas, como pequeños poblados.
3. Micro-celdas: Destinadas para cubrir y penetrar áreas dentro de ciudades con elevada densidad de tráfico.
4. Pico-celdas: Destinadas a cubrir pequeñas áreas como, centros comerciales, oficinas, aeropuertos y otros.

**Figura 13. Clasificación de celdas por objetivo de cobertura.**



### 2.1.8 Cobertura

Es la zona desde la cual un terminal móvil puede comunicarse con las estaciones base y viceversa. La cobertura real de una celda se conoce como huella y se determina de los modelos de campo o de los modelos de predicción de la propagación. La cobertura de una red es la composición y/o suma del alcance de todas sus estaciones base. Al planificar una red, desde el punto de vista cobertura, el primer dato que se requiere conocer es la zona que se desea cubrir.

Partiendo de esta única hipótesis, dado un área a cubrir, sería necesario un número de celdas tal que la suma de las áreas cubiertas por dichas celdas, a una altura determinada "h" y transmitiendo a su máxima potencia, fuera igual al área a cubrir.

Se debe tener en cuenta que no basta con realizar el cálculo de potencia en el sentido estación base a móvil; también es necesario que el móvil, en función de su capacidad de transmisión, pueda llegar hasta la estación de base.

Por ello, la cobertura de la red debe planificarse teniendo en cuenta las condiciones de transmisión en las que se encuentra el móvil, esto se denomina balance de enlace o potencia.

Actualmente, las redes se diseñan teniendo en cuenta varios tipos de móviles. La máxima cobertura se ofrece asumiendo terminales instalados en vehículos, con antena exterior, y también se realizan previsiones para equipos móviles en el exterior y en interior de vehículos, sin antena externa.

Existen gráficas, obtenidas de medidas empíricas sobre propagación, que muestran las correcciones en atenuación que se deben realizar para calcular correctamente el área de cobertura de un transmisor de radio, así como la probabilidad de cobertura asociada a dichas correcciones.

La idea consiste en dividir el área a cubrir en un número de celdas suficientemente grande, que permita la reutilización de frecuencias.

Desde el punto de vista de cobertura, lo que esta división en pequeñas células implica es que la cobertura de cada celda va a estar limitada por interferencia; es decir, el diseño se hará de forma tal que las celdas que utilizan los mismos canales de radio emitan a una potencia suficientemente baja para no se interfieran entre si y, a la vez, no interfieran a los móviles a los que están dando servicio.

En definitiva, el máximo alcance de una célula sólo se podrá conseguir en lugares de poca densidad de tráfico, que no son los más adecuados para este tipo de sistemas.

### 2.1.9 Acimut

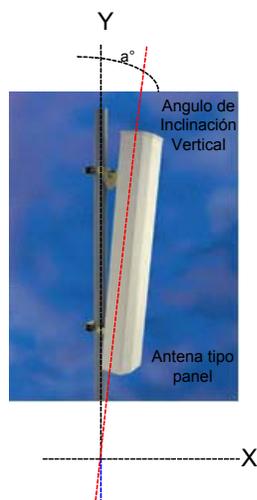
Se define como el valor angular medido en sentido horario en la dirección de referencia de 0 a 360°. Un acimut puede ser definido como verdadero, magnético y de cuadrícula, según la dirección de referencia corresponda al norte verdadero, magnético y de cuadrícula plana.

El acimut magnético, se mide respecto al norte magnético utilizando una brújula magnética. La aplicación y uso en propagación de radio frecuencia a través de antenas pretende dar la orientación de las mismas hacia un objetivo de cobertura preestablecido.

### 2.1.10 Inclinación

Se define como el ángulo que una línea o superficie forma con la vertical. Esta definición será aplicada en la instalación de antenas de radio frecuencia para verificar el ángulo de inclinación respecto de la vertical y la medición y verificación se realiza mediante un aparato denominado inclinómetro.

**Figura 14. Inclinación de antena tipo panel.**



### 2.1.11 Decibel

El decibel, símbolo (dB), es una unidad logarítmica y es la décima parte del Bel, aunque que no se utiliza por ser demasiado grande. En la práctica se ha normalizado el uso de la décima parte y se denomina decibel.

El decibel es la unidad más utilizada en el campo de las telecomunicaciones por la simplificación que su naturaleza logarítmica posibilita a la hora de efectuar cálculos con valores de potencia, intensidades o ganancias. Esto permite expresar en decibelios la ganancia de un amplificador o la pérdida de un atenuador sin necesidad de referirse a la potencia que en cada momento, se les esté aplicando.

La pérdida o ganancia de un dispositivo, expresada en decibelios viene dada por la fórmula:

$$dB = 10 \times \log \frac{P_E}{P_S} \quad (2.6)$$

donde,

$P_E$  potencia de la señal en la entrada del dispositivo, y

$P_S$  potencia a la salida del dispositivo.

Si hay ganancia de señal (amplificación) la cifra en decibeles será positiva, mientras que si hay pérdida (atenuación) será negativa.

En telecomunicación muchas veces se utiliza como nivel de referencia el miliwatts, obteniéndose los resultados en dB referidos a 1 mW, esto es en dBm. La unidad de medida referida a un medio de radiación isotrópica se denomina (dbi). Generalmente utilizado para referir a la ganancia de antenas.

## 2.2 Elementos de una red GSM

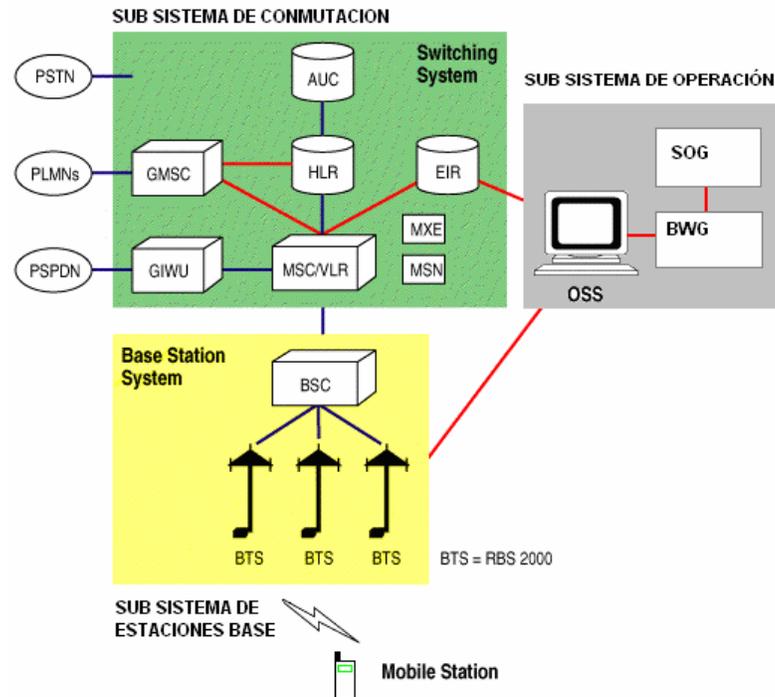
Una red de telefonía móvil celular esta constituida por varios sub-sistemas y funciones especificas que dan como resultado servicios y facilidades de comunicación móvil tales como: localización, identificación y registro con autenticación de abonados, enrutamiento y conmutación de llamadas con el respectivo cálculo y tarificación, así mismo la señalización é interconexión con otras redes.

En este apartado se enfoca la descripción de los subsistemas básicos soportados bajo el estándar de la tecnología GSM, en donde un subsistema es una entidad constituida por uno o más equipos diseñados para ejecutar tareas especificas y a la vez cada subsistema se interrelaciona y/o comunica con los otros por medio de protocolos de señalización específicos. Los subsistemas son:

- Subsistema de conmutación SS (Switching Subsystem).
- Subsistema de estaciones base BSS. (Base Station Subsystem).
- Subsistema de operación y mantenimiento OMC. (Operation and Maintenance Center).

Es de hacer notar que el conjunto de unidades moviles MS está directamente relacionado con los otros subsistemas, a través de la interfaz de aire o interfaz de radio frecuencia.

**La figura 15. Arquitectura básica de una red móvil celular.**



### 2.2.1 Sub Sistema de Conmutación

Es el encargado de administrar las comunicaciones que se realizan entre los diferentes usuarios de la red. Para realizar esta labor el sub sistema se divide en varios sistemas diferentes, cada uno con una misión definida dentro de la red. El esquema de funcionalidad esta basado en los siguientes componentes del sub sistema de conmutación y gestión:

- MSC (Mobile Switching Center) o centro de conmutación de moviles.  
Realiza las funciones de enrutamiento y conmutación de llamadas de los moviles establecidos en una determinada área de servicio, facilitando funciones adicionales para soportar la movilidad y organizar recursos de radio frecuencia.

Las principales funciones de la MSC son:

1. Procedimientos de localización, registro y actualización de abonados.
2. Gestión de llamadas y notificación a móviles de llamadas entrantes.
3. Procedimientos de transferencia de llamadas.
4. Enrutamiento de llamadas entre MS y la PSTN.
5. Gestión de protocolos de señalización con la BSC e intercambio de información de señalización con el protocolo MAP de SS7.
6. Funciones de interconexión entre la MSC y la PSTN.
7. Tratamiento de las funciones de interfuncionamiento
8. Recopilación de datos de tráfico y facturación.

La interconexión del Sub Sistema SS a través de la MSC con otras redes externas se realiza a través de la función denominada IWF (Inter Working Function).

- HLR (Home Location Register) o Registro general de abonados.

Es una base de datos donde se registran todos los abonados móviles para ser gestionados por el operador. Esta base de datos contiene toda la información administrativa de cada uno adicionados a los datos de localización.

Esta información puede clasificarse mediante:

1. Datos permanentes, como identificación de abonado (IMSI y MSISDN) que corresponde a teleservicios, suscripción y limitaciones.
2. Datos transitorios, actualizables, relativos a la localización de la MS con el propósito de enrutar las llamadas entrantes a la MSC donde está registrado el móvil. Esta información comprende el MSR, direcciones del VLR y del MSC e identidad temporal (TMSI) del móvil.

Específicamente, una red GSM puede contener uno o más HLR dependiendo del número de abonados, la capacidad del equipamiento y de la organización de la red. La capacidad es función del tamaño de la memoria y de factores dependientes del procesamiento de la información y puede llegar a ser de unos 500,000 abonados.

El estándar de GSM se ha establecido que todas las llamadas entrantes converjan en el HLR simplificando el acceso.

- VLR (Visitors Location Register) o Registro de visitantes.

El registro de abonados visitantes denominado VLR, es una base de datos que almacena información dinámica de los usuarios registrados en el área establecida para la MSC de modo que un móvil itinerante que entra en el área de la MSC, recibe una dirección de visitante y se notifica a su VLR asociado.

El VLR contiene información para el tratamiento de llamadas entrantes y salientes de los móviles obtenida por medio de consultas al HLR de carácter temporal y es básicamente la siguiente:

1. Identidad permanente del abonado (IMSI)
2. Identidad temporal del abonado (TMSI)
3. Número telefónico del abonado (MSISDN)
4. Número de enrutamiento (MSRN)
5. Identidad de la zona de localización (LAI)
6. Datos del abono del usuario (servicios, restricciones)

El estándar GSM funciona bajo el principio de que todo abonado es itinerante en un área, por lo que estará inscrito en cada momento en algún VLR. Este equivale entonces a la terminación virtual de la línea de abonado móvil. El número típico de abonados que puede manejar un VLR es de 150,000.

- AuC (Authentication Center) o centro de autenticación de abonados.

Es la base de datos que contiene información relativa a los usuarios con el propósito de identificar y asegurar la confidencialidad de los mismos. Así también protege a la red y los usuarios de actividades fraudulentas.

El AuC, guarda las identidades (IMSI) junto con la clave de identificación, ki, de cada usuario, la que se almacena en la tarjeta SIM. El AuC esta asociado al HLR y proporciona la información para la validación en la red de los usuarios. Este proceso se realiza a través de algoritmos denominados A3 y A8, el primero se utiliza para la autenticación y el segundo para la generación de la clave de cifrado de información.

- EIR (Equipment Identity Register) o identidad de equipos móviles.

Es una base de datos que contiene la identidad de los equipos móviles (IMEI) que identifican los equipos por código de fabricación y homologación. Previo a realizar una llamada la MSC consulta al EIR la validez del IMEI de ese equipo en particular. En el EIR están creadas tres listas de aparatos:

1. Lista blanca, contiene los aparatos autorizados para el acceso.
2. Lista negra, contiene los equipos que tienen prohibido el acceso, ej. Reportados como robados.
3. Lista gris, contiene los equipos detectados con algún tipo de falla.

Es de hacer notar que a efectividad del EIR depende de la colaboración de los diversos operadores con el fin de mantener actualizada la información sobre los equipos robados o no deseados, sin embargo en Guatemala esta colaboración es nula por ahora.

- ILR (Inter Location Register)

Es el registro de localización ínter operaciones. Es la base de datos que contiene información sobre los suscriptores de otras redes que tienen permitido el acceso en la red propia y utilizan equipos capaces de operar en múltiples tecnologías.

- GMSC

Es la puerta de enlace de la MSC, encargada de manejar las llamadas desde y hacia otras redes.

- GIWU/DT

Es la unidad de interoperabilidad e interfase de transferencia de datos que permiten la comunicación de datos de la red y utilización del servicio de fax y voz en la misma llamada.

- MXE

Es el centro de mensajes encargado de administrar servicios de valor agregado como mensajes cortos, correo de voz y servicio de fax.

- MIN (Mobile intelligent Network)

Red inteligente móvil. Es un nodo opcional que permite prestar servicios avanzados a los usuarios, así como servicios corporativos.

### **2.2.2 Sub sistema de operación, supervisión y mantenimiento**

El subsistema de operación y mantenimiento cumple con las funciones de gestión de red a través de la supervisión, control y manejo de los diferentes elementos de la misma. Los elementos principales y funcionales se muestran en la figura 14 y son:

#### **1. Sistema de operación y soporte OSS**

Realiza las tareas de monitoreo y control con fines de detectar y corregir fallas o posibles fallas por medio de rutinas preventivas y correctivas de mantenimiento. Esta labor se realiza de forma centralizada a través de interfaces visuales gráficas o ventanas de información estadística de los diferentes elementos de red.

#### **2. Interfase de órdenes de servicio SOG**

Es la responsable de proveer acceso remoto para el intercambio de los datos de suscripción de los usuarios entre VLR, HLR e ILR. Esta interfase cumple con funciones administrativas al intercambiar y procesar datos relacionados de usuarios y equipos.

Las funciones básicas son: Manejo de datos de abonados en el AuC, consultas del AuC, manejo de datos en el HLR, manejo de servicios suplementarios, personalización del SIM y rastreo de abonados y equipos.

Entiéndase por manejo, la adición, modificación y supresión de datos.

### 3. Interfase de tarificación BGW

Esta interfase provee un acceso remoto, así como la conversión de protocolos para el intercambio de información de la tarificación entre diferentes MSC.

#### **2.2.3 Sub sistema de estaciones base**

El BSS (Base Station System) está en contacto directo con las estaciones móviles a través de la interfaz de radio, denominada capa física, gestiona los trasposos entre celdas de un mismo BSS, maneja el control de potencia del MS y BTS respectivamente, realiza el control de canales para establecimiento y liberación de llamadas, maneja la mensajería de y hacia la MSC y colecta contadores de tráfico en la interfaz de radio con fines estadísticos.

La misión del BSS se puede resumir como la función de administrar y conectar las estaciones móviles y el MSC, y por ende, conecta a los usuarios móviles con otros usuarios. El BSS es también un elemento de la red que debe ser controlado, y por lo tanto está siempre en contacto con el OSS.

Las funciones antes mencionadas son realizadas por tres elementos básicos que componen el sub-sistema que se muestran en la figura 14 y son descritos a continuación:

- BTS (Base Transceiver Station) o (BRS)

En el inciso 2.1.6 fue descrita una radio base, por lo que se procederá a describir los diferentes modelos de RBS que son utilizadas en Telefonica Moviles y cuyo proveedor a la fecha es Ericsson.

#### 1. RBS 2106

Es una radio base para uso en exteriores diseñada para operar y resistir en condiciones climáticas especificadas por el fabricante. Tiene capacidad para operar hasta 12 radios o portadoras, equivalente a cursar 87 conversaciones o canales simultáneos. Su potencia máxima de transmisión es de 45dbm por radio y puede manejar hasta tres celdas.

Siendo una celda a una unidad de cobertura independiente, comúnmente denominado sector el cual no comparte recursos de voz con otra celda. Siendo su capacidad máxima en canales de 29 por celda o sector.

**Figura 16. Radio base modelo 2106.**



## 2. RBS 2206

Está diseñada para instalarse en interiores. Ocupa menor espacio y cuenta con la misma capacidad y características que la anteriormente descrita, 2106.

**Figura 17. Radio base modelo 2206.**



En términos generales estas radio bases tienen una capacidad máxima de de 4 portadoras, equivalentes a 29 canales de voz por celda o sector.

## 3. RBS 2207

Está diseñada también para instalación en interiores y cuenta con la mitad de la capacidad de canales que los otros modelos, aunque tiene características equivalentes a la anteriormente descrita, pero es un equipo compacto de menores dimensiones.

- BSC (Base Station Controller)

Realiza las funciones de control y gestión del BSS de los recursos de radio. El BSC se utiliza como controlador de las BTS y tiene como funciones principales, el manejo de los trasposos entre celdas (handovers), el manejo de la frecuencia de salto (frequency hopping) y el control de las frecuencias de radio de las BTS.

A la vez se encarga de distribuir los mensajes de aviso (paging) del MSC y realiza la conexión con los móviles para establecimiento y liberación de recursos de canales de tráfico. Un recurso de relevancia del BSC, es realizar el control de potencia por medio de algoritmos que permiten ajustar la misma tanto de los móviles como de las BTS, de manera que redunde en un sistema eficiente en aras de reducir niveles de interferencia y alargar la vida útil de la batería del MS.

Adicionalmente, el control del sistema se realiza a través contadores que registran estadísticamente el tráfico de la interfaz de radio.

- TRAU (Transcoding and Rate Adaptation Unit)

Es la unidad de transcodificación de voz y adaptación de velocidad de transmisión de información a nivel de interfaces del sub-sistema BSS. Su función consiste en variar la tasa de muestreo de la voz entre el BSC de radio bases y la MSC con el fin de utilizar de manera eficiente las interfaces de transmisión entre estas.

### **2.3 Diseño de radio frecuencia**

La estructura de las redes inalámbricas se diseña teniendo presente la necesidad de superar los obstáculos y manejar las características propias de la radio propagación.

Disponer de un radio enlace directo para cada suscriptor, predecir las características de la señal en zonas urbanas donde la densidad de suscriptores es alta y las edificaciones tienen gran influencia en la propagación, son factores que establecen limitaciones fundamentales en el diseño de la red orientada a los requerimientos del mercado y la empresa.

Los mecanismos que gobiernan la radio propagación son complejos y diversos, y generalmente se atribuyen a fenómenos que sufren las ondas electromagnéticas en su transporte, tales como reflexión, difracción, dispersión y en general pérdidas de propagación.

Los requerimientos para reducir el efecto de estos fenómenos en las comunicaciones son definidos de diversas maneras dependiendo de la tecnología utilizada.

Según la capacidad y cobertura requeridas en el área de influencia de la red, su diseño implicará la utilización de celdas de diferentes radios y las antenas de las estaciones base presentarán diferentes alturas y potencias de transmisión.

### **2.3.1 Cobertura de una celda**

La cobertura del sistema se refiere a las zonas geográficas en las que se va a prestar el servicio. La tecnología utilizada será el estándar GSM, procurando una máxima cobertura con un mínimo de estaciones base, manteniendo los parámetros de calidad de la empresa en función de las necesidades de los usuarios.

La tendencia en cuanto a cobertura de la red es permitir al usuario acceso a los servicios a cualquier lugar, ya sea local, regional, nacional e internacional. La cobertura se convierte en el foco del diseño de radio celular en función del entorno a cubrir y de las condiciones propias de cada uno de estos.

Los entornos son básicamente zonas urbanas o rurales. Las primeras pueden ser zonas con alta, media o baja concentración de población y/o edificaciones. Por otra parte, poblaciones dispersas han de considerarse como rurales y por ende el diseño es particular en cada caso y la calidad de cobertura y desempeño ha de ajustarse de acuerdo al requerimiento del operador.

Los entornos rurales consideran aspectos de diseño en los que la capacidad no se torna crítica dado que la demanda de tráfico es relativamente baja, no así la cobertura que debe ser extendida aunque limitada por la sensibilidad y alcance de los receptores, condiciones topográficas y de propagación de radio.

Los entornos urbanos por el contrario debe considerar aspectos de diseño orientados en función de la capacidad instalada, la que se ve limitada por la excesiva demanda de tráfico y por las pérdidas por penetración, las que deben

ser compensadas, densificando el área a cubrir con más de una celda, sin embargo se torna crítica la interferencia debido al mayor número de estaciones base operando en una extensión geográfica reducida.

### **2.3.2 Planificación de celdas**

La planificación celular como base del diseño y desarrollo del objetivo de cobertura puede ser definida en función de un modelo geométrico como parte de la información preliminar en términos de cuantificar la cobertura y capacidad del sistema y/o red que se está proyectando.

Se ha mencionado con anterioridad que un modelo o tipo de celda que se ajusta a las consideraciones de diseño es de forma hexagonal que resulta de asumir sistemas radiantes independientes dirigidos a un objetivo.

La planificación pretende ser exitosa en la medida que se optimice la relación calidad / costo, dando el peso necesario a la calidad en función de costo beneficio, aunque posiblemente sea a mediano o largo plazo y para llevarse a cabo deben considerarse básicamente los siguientes aspectos técnicos:

1. El modelo de tráfico en función del entorno y/o objetivo definido por la empresa, basado en pronósticos de la demanda en función del tipo de zona y la movilidad de los usuarios de voz y datos principalmente.
2. Elección del tamaño y tipo de celda en función de la distribución del tráfico.
3. Elección del sistema radiante en función del objetivo de cobertura.
4. Distribución de las estaciones base en función de emplazamientos disponibles.
5. Predicción de cobertura.

6. Análisis del plan de frecuencias.
7. Análisis del plan de interconexión, asignación de centro de control y conmutación.

La planificación debe servir de guía para la ejecución y despliegue físico de la red. El plan inicial no necesariamente se culminara dado las circunstancias dinámicas tanto durante la realización como la posterior evolución y/o crecimiento de la red sin descuidar la calidad.

También debe tomarse en cuenta durante la planificación el factor económico que dependerá de aspectos inherentes a la selección del sitio y ubicación del mismo para desarrollar la infraestructura física, estos pueden llegar a incrementar los costos si no se toman en cuenta situaciones tales como, acceso al sitio y tipo de suelo, disponibilidad de energía eléctrica, tipo de estructura y altura de torre, medio de transporte (microonda, fibra, cobre), definición de radio bases para intemperie o interiores para las que hay que considerar algún tipo de caseta.

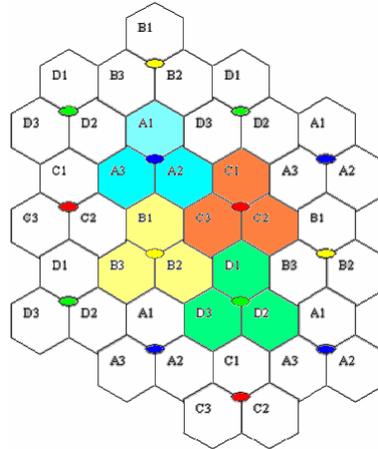
### **2.3.3 Planificación de frecuencias**

Se trata de utilizar un grupo de frecuencias asignado a la red u operador dividiéndolo y ordenándolo según una estructura celular para construir dicha red con las mismas frecuencias sin que estas interfieran entre sí.

Los sistemas de radio celulares GSM se basan en la reutilización de los canales en una zona ó región de cobertura. Al proceso de diseño de seleccionar y colocar grupos de canales en todas las estaciones base dentro de un sistema o red celular, se denomina planificación de frecuencias.

La figura 17 ilustra el concepto de reutilización de frecuencias, donde las celdas con la misma letra utilizan el mismo grupo de canales.

**Figura 18. Re-uso de frecuencias.**



La forma hexagonal de la celda mostrada en la figura es conceptual y es un modelo simple de la cobertura de radio para cada estación base, pero ha sido universalmente adoptado dado que el hexágono permite un análisis fácil y manejable de un sistema celular.

Para comprender el concepto de reutilización de frecuencia, consideremos un sistema celular que tenga un total de T canales dúplex disponibles para su utilización.

Si a cada celda se le colocan un grupo de K canales (con  $K < T$ ), los T canales divididos dentro del grupo único K, se tiene la simple ecuación:

$$N = T/K \tag{2.7}$$

Que corresponde al número de canales por celda. Y para un área geográfica específica, si los grupos K se replican M veces, entonces, la capacidad del sistema es,  $M \times T$ .

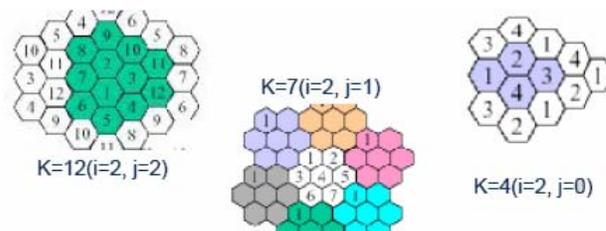
La elección del grupo K, determina la distancia entre celdas que usan la misma frecuencia.

También se considera que K depende de la relación de interferencia que toleren los móviles y de las pérdidas por trayectoria. Si  $K=7$ , el factor de reutilización de frecuencias es  $1/7$ , asumiendo  $T= 300$  canales,  $N=300/7$  aproximadamente 43 canales y considerando tres grupos  $M=3$ , resulta que se tiene una capacidad del sistema de 900 canales.

Es de hacer notar que debido a la geometría de grilla hexagonal asumida, solo ciertos de valores de K son validos, siendo  $K= i^2+j^2+ij$ , donde i, j son números naturales y para  $(i, j)= (2,2) \rightarrow K=12$ ,  $(i, J)= (2,1) \rightarrow K=7$ ,  $(i, J)= (2,0) \rightarrow K=4$ , entonces los valores típicos de K son, 4,7,12 ó 21, según se requiera.

La figura 18, muestra la distribución gráfica de los arreglos de K típicos.

**Figura 19. Factores de reutilización.**



Finalmente, cuanto mayor sea N, mayor será la distancia entre estaciones base con el mismo grupo de canales y menor será su interferencia, pero la capacidad del sistema será menor.

Desde el punto de vista del diseñador, es deseable usar el valor más pequeño de N para maximizar la capacidad dentro de un área de cobertura.

## **2.4 Herramientas de predicción de propagación**

La predicción de propagación de radio frecuencia se realiza a través de herramientas basadas en una combinación de teorías estadísticas y electromagnéticas que dan como resultado una simulación.

La primera en función de la probabilidad de movilidad y la segunda en función de aspectos y consideraciones físicas tales como, naturaleza del terreno, topografía y vegetación, estructura, forma y densidad de edificaciones, condiciones meteorológicas y por la teoría de propagación de ondas electromagnéticas.

La conjunción de estas teorías conforma un modelo de aplicación, de los cuales existen pocos estrictamente teóricos y varios empíricos.

El fin de la predicción es estimar y evaluar la cobertura de un área y su escenario específico, actividad que se convierte en la base de la planificación y diseño de radio. Por lo tanto, el balance de potencia entre un móvil y su posición resultan ser el objetivo de la predicción de pérdidas y la distancia máxima de cobertura.

Un modelo que se ajuste a las exigencias del diseñador será adoptado por éste, por el grado de precisión que proporcione y por la complejidad y datos de entrada necesaria que serán función del área o zona a evaluar tal como rural o urbana.

Los modelos comúnmente utilizados son: Okumura, Hata, Xia, Cost 231, Walfisch-Ikegami y otras combinaciones como, Okumura-Hata y Cost231-Hata.

### 2.4.1 MSI Planet

MSI Planet es una herramienta desarrollada por Mobile System International como una plataforma de simulación basada en modelos de propagación como los antes mencionados y capaz de soportar modelos desarrollados por el usuario creando y/o modificando algoritmos que deben ser compilados en sistemas tales como:

- Center Line C++ compiler V2.04 (HP and Sun Solaris 2.x)
- SunSoft SPARCompiler C++ 4.1 (Sun Solaris2.x)
- Microsoft Visual C++ compiler V4.0 (Windows NT).

Las modificaciones consisten en hacer cambios en librerías reemplazando valores por defecto tanto en estas como en los modelos de propagación.

Así mismo, la herramienta cuenta con varias bases de datos que el usuario puede acceder y/o modificar. La tabla V, muestra un resumen de las bases de datos disponibles en Planet. Las más importantes corresponden a información relacionada con, sitios, celdas, antenas y mapas.

**Tabla V. Bases de datos de Planet.**

Bases de Datos			
Sitios	Celdas	Antenas	Mapas
Identificación Sitio	Tipo RBS	Fabricante	Alturas
Nombre Sitio	Potencia TX (W)	Ganancia (db)	Vectores
Latitud	Nivel recepción (dbm)	Frecuencia (Mhz)	Morfología
Longitud	Pérdidas en equipo (dbm)	Polarización	Textos
ASNM (m)	Perdidas Sistema Radiante (dbm)	Apertura Horizontal (grados)	
	Inclinación Antena (grados)	Apertura Vertical (grados)	
	Altura Antena (m)	Patrón Radiación	

Planet se compone de tres módulos los que realizan las tareas de simulación de predicción de cobertura, cálculo de enlaces de microonda y densificación de tráfico. Estos se describen a continuación:

## 1. Modulo de predicción de cobertura

Este modulo esta compuesto por varias rutinas, dentro de las cuales hay que mencionar las que calculan las predicciones para macroceldas y microceldas.

### A. Rutinas de cálculo de modelos de propagación de macroceldas

El propósito de una macrocelda es cubrir un área extensa delimitada únicamente por el objetivo de cobertura y los elementos en dicha región. Para tal efecto la predicción calcula las perdidas para cada punto dentro del área a predecir utilizando el perfil del terreno desde la radio base hasta el dicho punto, tomando en cuenta un modelo de propagación.

Planet utiliza un modelo estándar de propagación que da como resultado la potencia de señal recibida por el móvil a cierta altura en un punto respecto de la altura de la antena transmisora. El modelo estándar calcula la altura efectiva de transmisión y esta dada por la siguiente ecuación:

$$P_{rx} = P_{tx} + K1 + K2 \log(d) + K3 \log(H_{eff}) + K4 \text{difrac} + K5 \log(H_{eff}) \log(d) + K6 (H_{m_{eff}}) + K \text{Clutter} \quad (2.8)$$

donde:

$P_{rx}$	Potencia recibida dBm.
$P_{tx}$	Potencia transmitida (ERP) dBm.
$K1...K6$	Constantes.
$d$	Distancia.

$H_{eff}$             Altura efectiva de nivel de piso a antena.

La altura efectiva en metros esta dada por:

$$H_{eff} = H_b + H_{ob} - H_{om}, \text{ sí } H_{ob} > H_{om}. \quad (2.9)$$

$$Y \quad H_{eff} = H_b, \text{ sí } H_{ob} \leq H_{om} \quad (2.10)$$

donde:

$H_b$             altura de la antena en la radio base.

$H_{ob}$            altura sobre el nivel del mar de la radio base.

$H_{om}$            altura sobre el nivel del mar del móvil.

Tomando en cuenta el perfil del terreno, el algoritmo utiliza la ecuación:

$$H_{eff} = H_b + (H_{ob} - H_{om}) \quad (2.11)$$

Incluyendo la inclinación del terreno el algoritmo utiliza la ecuación:

$$H_{eff} = (h_1 - h_2) + (K * d) \quad (2.12)$$

donde:

$h_1$             Altura de antena radio base + altura de nivel de tierra

$h_2$             Altura de antena del móvil + altura de nivel de tierra

$d$               Distancia en metros de radio base a receptor (móvil)

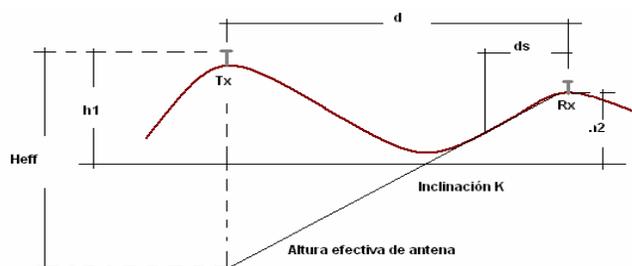
$K$               Inclinación. Dada por la distancia y altura efectiva.

Difracción    Pérdidas por difracción.

$K_{clutter}$       Ganancia en dB por tipo de clutter en la posición del móvil.

$H_{meff}$           Altura efectiva de la antena del móvil.

**Figura 20. Altura efectiva de antena de transmisión.**



El modelo de propagación estándar también utiliza la altura efectiva del móvil y es calculada de la siguiente forma:

$$H_{m_{eff}} = (h_{0m} + h_m) - h_{0b} \quad (2.13)$$

**Figura 21. Altura efectiva de la antena del móvil.**



Dentro de las rutinas de cálculo de predicción el modelo considera uno o más puntos de obstrucción que causa pérdidas entre la antena transmisora y el móvil. Si la obstrucción está a una distancia (\$d\_i\$) de la antena y esta sobresale una altura (\$c\_i\$) respecto de la misma, entonces, la zona de Fresnel se calcula con la siguiente ecuación:

$$V_i = c_i \sqrt{2d/d_i \lambda (d - d_i)} \quad (2.14)$$

donde,

\$\lambda\$ longitud de onda.

\$d\$ distancia inclinada del terreno.

Para un valor de (\$v\_i\$) menor que -0.8 indica que se obtiene una trayectoria limpia para la zona de Fresnel. Considerando los obstáculos en la trayectoria, la ecuación para la relación de pérdidas en función de la integral de Fresnel resulta como:

$$|E/E_0| = \left| 1 + j/2 \times \int_{V_i}^{\infty} e^{-j(\pi/2)v^2} dv \right| \quad (2.15)$$

De esta integral se obtiene la pérdida de trayectoria  $P_{Loss}$  para cada valor de  $(v_i)$ , resultando en una tabla en valores de dB, calculados entre  $-0.8 \leq v_i < 2.0$  con:

$$P_{Loss} = 20 \times \log |E/E_0| \quad (2.16)$$

Si  $v_i \Rightarrow 2.0$ , una aproximación resulta ser:

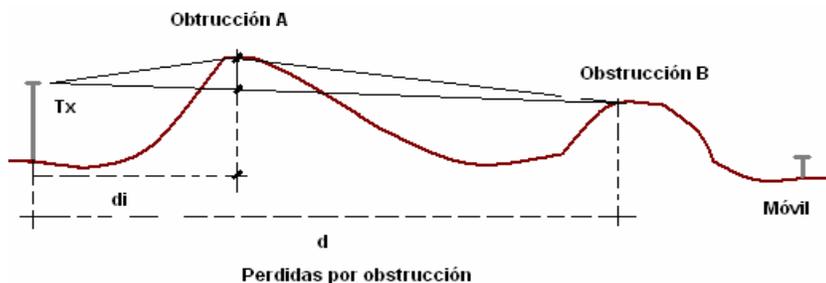
$$|E/E_0| = 0.225/v_i \quad (2.17)$$

**Tabla VI. Valores de Pathloss (dB).**

$V_i$	$P_{Loss}$	$V_i$	$P_{Loss}$
-0.8	0.0	0.7	-11.77
-0.7	-0.46	0.8	-12.50
-0.6	-1.13	0.9	-13.15
-0.5	-1.86	1.0	-13.85
-0.4	-2.64	1.1	-14.52
-0.3	-3.45	1.2	-15.09
-0.2	-4.29	1.3	-15.70
-0.1	-5.15	1.4	-16.25
0.0	-6.02	1.5	-16.77
0.1	-6.90	1.6	-17.27
0.2	-7.74	1.7	-17.79
0.3	-8.59	1.8	-18.20
0.4	-9.42	1.9	-18.63
0.5	-10.23	2.0	-18.94
0.6	-11.03		

Para múltiples bordes de difracción se aplica con la respectiva pérdida en dB acumulada. La siguiente figura muestra dos obstrucciones A y B, donde  $c_i$ ,  $d_i$  y  $d$  son utilizadas en la ecuación de difracción antes descrita. Ec. (1.14)

**Figura 22. Perdidas por obstrucción.**



Para realizar cálculos de propagación para macroceldas, Planet adicionalmente al modelo estándar incluye el modelo Walfisch-Ikegami que considera la propagación en calles y cañones sin pérdidas por obstrucciones como las revisadas en los párrafos anteriores. Las ecuaciones del modelo se describen a continuación.

Si existe línea vista entre las antenas de la base y el móvil, entonces:

$$L_b = 42.6 + 26 \log(d) + 20 \log(f) \quad (2.18)$$

donde:

d	Distancia entre estación base y móvil en Km. (<20Km)
f	Frecuencia en Mhz
$L_b$	Perdida en espacio libre para d=20m.

Si la línea vista no existe entonces:

$$L_b = L_o + L_{rts} + L_{msd} \quad (2.19)$$

donde:

$L_o$	Perdida en espacio libre = $32.4 + 20 \log(d) + 20 \log(f)$	(2.20)
$L_{rts}$	Difracción de techo a calle y pérdidas por dispersión	
$L_{msd}$	Pérdidas por multi trayectoria	

Este modelo está restringido a los siguientes valores:

f	800 – 2000 Mhz.
hb	4 – 50 m, altura de la estación base.
hm	1 – 3m, altura del móvil.
d	0.02 - 5 Km.

Al igual que el modelo anterior Planet utiliza el modelo estándar de Okumura-Hata cuya ecuación se deriva de curvas de predicción obtenidas de resultados experimentales y de cálculos estadísticos.

Este modelo es apropiado para utilizarse en un rango de frecuencias entre 100 y 1500 Mhz, usando una altura de antenas transmisoras entre 30 y 200 m y un rango de altura de móvil entre 1 a 10 m con distancia mayor a 1 Km. entre ambas. El modelo es utilizado también para ambientes urbanos dado que para otros ambientes deben aplicarse correcciones. La ecuación que representa este modelo esta dada por:

$$L_p = 69.55 + 26.16 \log_{10} f_c - 13.82 \log_{10} h_b - a(h_m) + (44.9 - 6.55 \log_{10} h_b) \log_{10} d \quad (2.21)$$

donde:

$L_p$	Perdida por trayectoria (dB).
$f_c$	Frecuencia (Mhz).
$h_b$	Altura de estación base (m).
$h_m$	Altura del móvil.
$a$	Factor de corrección por altura.
$d$	Distancia en estación base y móvil.

El modelo de Okumura, puede aplicarse con varios factores de corrección que dan opción a distintos ambientes y circunstancias reales de los cuales a continuación se hace una breve descripción teórica de los más importantes y utilizados en nuestro medio.

- Factor de corrección de altura de la estación base o transmisora

La ecuación esta dada por:

$$H_t = A (\log_{10} h_{te})^2 + B (\log_{10} h_{te}) + C \quad (2.22)$$

donde:

$h_{te}$	Altura de la antena de estación base. Calculada como se indico inicialmente donde se denominó $H_{eff}$ .
----------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------

A, B, C Coeficientes dependientes de la distancia d, como se muestra en la tabla xx.

**Tabla VII. Coeficientes para altura efectiva en función de la distancia.**

d(Km.)	A	B	C
1	0.5131	11.68	-23.32
3	0.2433	14.42	-27.31
5	0.3690	15.60	-29.94
10	0.5457	17.75	-34.66
20	2.5680	11.89	-30.61
40	4.2890	7.019	-27.66
50	4.2250	4.830	-23.23

- Factor de corrección Rolling Hilly

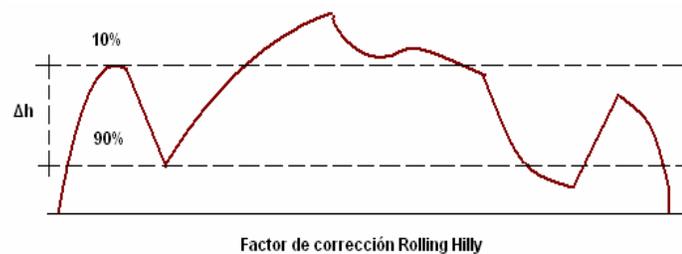
Dado por la ecuación:

$$K_h = -5.180(\log_{10} \Delta h)^2 + 3.538(\log_{10} \Delta h) + 3.105 \quad (2.23)$$

donde:

$\Delta h$  Distancia en 10% a 90% en altura respecto a la distancia entre estación base y móvil.

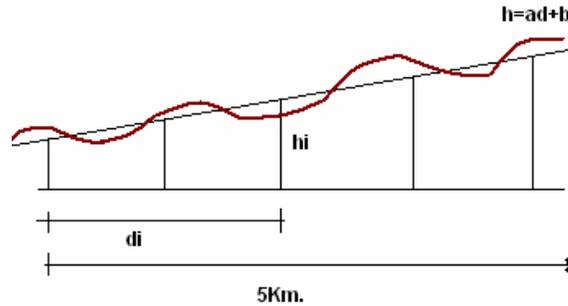
**Figura 23. Factor de corrección Rolling Hilly.**



- Factor de corrección de inclinación

Este factor es calculado únicamente si existe línea vista entre la estación base y el móvil y consiste en calcular el ángulo de inclinación entre ambos puntos.

**Figura 24. Factor de corrección de inclinación.**



La ecuación de la línea está dada por  $h = ad + b$  (obtenida de mínimos cuadrados)

$$\theta_m = \tan^{-1}(a) \times 17.4532 \text{ (radianes)} \quad (2.24)$$

Si el ángulo se estima entre 3 y 20 radianes, entonces:

$$K_{sp} = A \theta_m^2 + B \theta_m + C \quad (2.25)$$

donde:

$K_{sp}$  Factor de corrección por inclinación.

A, B, C, Coeficientes dependientes de la distancia d, como se muestra en la tabla xx.

**Tabla VIII. Coeficientes por inclinación en función de la distancia.**

d(Km)	A	B	C
>60	-0.009411	0.7620	0.22
=30	-0.013400	0.6313	-0.63
<10	-0.02394	0.2057	0.12

- Factor de corrección por agua

Este factor es utilizado cuando existe una masa de agua entre la estación base y el móvil. Esta masa puede ser el mar o un lago. Las ecuaciones utilizadas cuando el agua está del lado del móvil, para  $d \Rightarrow 60$  Km. es:

$$K_{se} = -0.001191 \beta^2 + 0.2620 \beta + 0.27 \quad (2.26)$$

Si el agua esta del lado de la estación base:

$$K_{se} = -0.00045 \beta^2 + 0.1143 \beta + 0.27 \quad (2.27)$$

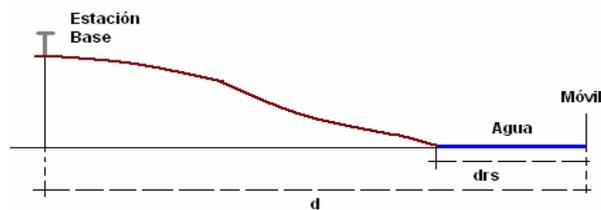
donde:

$\beta = d_{rs}/d$       Porcentaje de la distancia sobre el agua respecto a la distancia hacia la estación base. (2.28)

$d_{rs}$       Distancia que ocupa la masa de agua.

$d$       Distancia de la estación base al móvil.

**Figura 25. Factor de corrección de por agua.**



- Factor de corrección para Área Suburbana

Considera áreas dentro de una ciudad con baja densidad de edificaciones que no sobrepasan gran altura. Generalmente no sobrepasan 10 m. La ecuación que define este factor esta dada por:

$$K_{sub} = 2 (\log_{10} (f_c/28)) ^2 \quad (2.29)$$

donde:

$K_{sub}$       Valor del factor de corrección suburbano, (dB).

$f_c$       Frecuencia (Mhz).

Si  $L_p$  es la ecuación estándar para la pérdida en un área urbana en dB, entonces para un área suburbana resulta:

$$L_{ps} = L_p - K_{sub} \quad (2.30)$$

donde:

$L_{ps}$  Perdida en área suburbana (dB).

- Factor de corrección para Áreas abiertas o rurales

Considera áreas abiertas donde la densidad de edificaciones es muy baja. Generalmente, se considera como áreas rurales. La ecuación que define este factor esta dada por:

$$K_{open}=4.78(\log_{10}f_c)^2 -18.33 \log_{10} f_c + 40.94 \quad (2.31)$$

donde:

$K_{open}$  Valor del factor de corrección de área abierta (dB).

$f_c$  Frecuencia (Mhz).

Si  $L_p$  es la ecuación estándar para la perdida en un área urbana in dB, entonces para un área suburbana resulta:

$$L_{po}= L_p - K_{open} \quad (2.32)$$

donde:

$L_{po}$  Perdida en área abierta (dB).

## B. Rutinas de cálculo de modelos de propagación de microceldas

La propagación en un área reducida esta determinada por el objetivo de cobertura y de los elementos en dicha región, tales como edificaciones, calles y pequeñas área abiertas.

Al igual que en la predicción para estaciones base definida como macroceldas, para este caso también se trata de determinar las pérdidas de trayectoria basada en las ecuaciones antes descritas, pero considerando menor potencia de transmisión y esperando buenos niveles de penetración en los

edificios cercanos para los cuales la ecuación de potencia de recepción se define como:

$$\text{PowerRx} = \text{PowerTx} + \text{Gain (d)} + \text{AntennaHighGain} + \text{MaskingGain} \quad (2.33)$$

donde:

PowerRx	Potencia recibida (dBm) en un punto.
PowerTx	Potencia transmitida (ERP) desde la estación base (dB).
Gain (d)	Pérdida o ganancia negativa
d	Distancia (m) desde la fuente al punto.

En términos generales la pérdida puede aplicarse tanto para edificios como calles y cualquier elemento dentro del área circunscrita para la microcelda.

## 2. Modulo de cálculo de enlaces de microonda

Al igual que el modulo de predicción de cobertura el modulo para el cálculo de predicción de microondas esta conformado por diferentes bases de datos y archivos, tales como, base de datos de sitios, antenas de microondas, plan de frecuencias y condiciones ambientales entre otras.

De igual manera que el modulo anterior, cobertura, en este también se pretende calcular las pérdidas de trayectoria entre el emisor y receptor a través de la ecuación siguiente:

$$L_{\text{path}} = \text{FSL} + L_{\text{atm}} + \rho_{\text{diff}} \times L_{\text{diff}} \quad (2.34)$$

donde:

FSL	Perdida de espacio libre (dB).
$L_{\text{atm}}$	Pérdida por la atmósfera (dB).
$L_{\text{diff}}$	Pérdida por difracción (dB).
$\rho_{\text{diff}}$	Coefficiente de pérdidas por difracción.

### 3. Modulo de densificación de tráfico

Planet se hace valer de mapas de tráfico, tablas de Erlang B y datos reales de tráfico, congestión, canales disponibles y número de usuarios, para generar mapas de densidad de tráfico en mE/km<sup>2</sup> por píxel, así como tráfico ofrecido que será igual a tráfico cursado/ (100 -%congestión).

El cálculo entrega como resultado en función de la localización geográfica y sectorización del sitio agregado al grupo de celdas, un balance de tráfico entre las diferentes estaciones base consideradas en el estudio.

#### **2.4.2 Ericsson TEMS Cell Planner**

TEMS CellPlanner es una herramienta avanzada para diseño y planificación de redes 2G, 2.5G, y 3G. El programa ha sido diseñado y desarrollado por Ericsson TEMS.

TEMS CellPlanner ofrece interfaces abiertas con arquitectura modular que hace fácil ingresar los datos de entrada é integrar resultados. La herramienta permite múltiples usuarios que comparten las bases de datos de la red. Esto es regulado por un único sistema que hace que co-existan todas las tecnologías en una misma sesión.

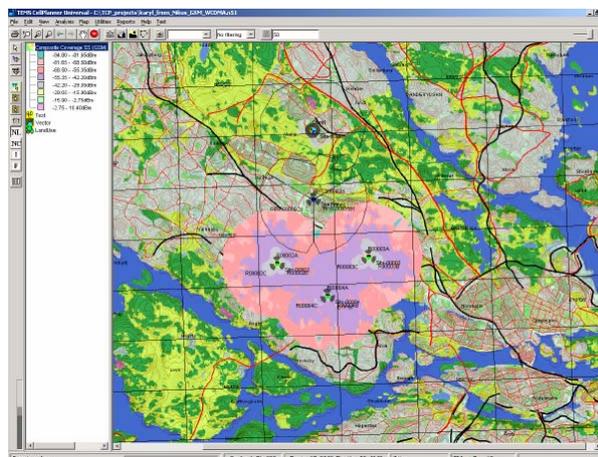
El módulo para GSM de TEMS CellPlanner soporta el ambiente complejo del RF en el que se desempeña esta tecnología. El módulo incluye el AFP (Automatic frequency planning) que analiza la asignación de canales, vecinos, e interferencia para optimizar el plan frecuencias.

TEMS CellPlanner soporta varios modelos de propagación, como los indicados en el inciso anterior. Básicamente, utiliza el modelo 9999 que es una versión particular de Ericsson del modelo Okumura-Hata. También utiliza el modelo Half-screen para simular pérdida de trayectoria sobre techos y el modelo Recursivo para microceldas que simula la propagación entre los edificios en zonas de mayor densidad urbana. De igual manera soporta el modelo Walfisch-Ikegami.

La herramienta también incluye un modulo para el planeamiento de transmisión vía microonda. Este modulo se denomina TEMS LinkPlanner y ayuda a planear y diseñar una red eficiente que garantice una alta disponibilidad.

Al igual que otras herramientas de predicción TEM Cellplanner contiene varias bases de datos que deben ser completadas con información específica del usuario tal como datos de sitios, antenas, portadoras y mapas con su respectiva altimetría. Con esta información la herramienta da como resultado un mapa de cobertura en diferentes colores de la atenuación respectiva de cada punto, tal como lo muestra la figura 25.

**Figura 26. Predicción con TEM Cellplanner para un grupo de celdas.**



## 2.5 Capacidad de tráfico de una red móvil GSM

En una red móvil GSM debe estimarse los diferentes elementos que componen la misma y que tienen su propia capacidad para cursar el tráfico telefónico. Estos elementos son principalmente:

### 1. Estación base.

Corresponde al acceso del móvil a la red GSM y si es requerido a la red PSTN. Este equipamiento está compuesto por la interfaz de radio y su respectivo número de canales, cuyo cálculo de capacidad se realiza considerando esta estación independiente de las circunvecinas y estimando su zona cobertura, al mismo tiempo, suponiendo el caso de tráfico más desfavorable, es decir, el tráfico en la hora cargada.

En dichas circunstancias se espera que no existan llamadas bloqueadas. Donde la probabilidad de dicha ocurrencia está dada por la fórmula de Erlang B. Considerando una intensidad de tráfico  $A$  en un número de circuitos  $N$ .

$$P_b = B(N, A) \quad (2.35)$$

La capacidad que aporta este elemento de red es función del número de canales utilizado, del tamaño de las celdas (radio de cobertura) y de la configuración del grupo o "cluster" al que corresponde. Bajo estas condiciones se puede estimar que la intensidad de tráfico está dado por:

$$A = 3 \sqrt{3} R^2 \rho / 2k \quad (2.36)$$

donde,

$\rho$  densidad de tráfico.

$R$  radio medio de cobertura.

$k$  número de sectores por celda.

Utilizando la función inversa de Erlang B, el número de canales necesario será:

$$C=B^{-1}(A, pb) \quad (2.36)$$

## 2. Parámetros de movilidad.

Considera básicamente las tasas de conexión y desconexión, actualización de posición, avisos (paging) y trasposos de llamadas (handover).

## 3. Elementos de conmutación.

Estos consideran la capacidad de alojamiento de usuarios (HLR, VLR).

## 4. Recursos de interconexión.

Debe estimarse la capacidad de interconexión de la red GSM con la PSTN a través de circuitos en diferentes medios, tales como fibra, cobre y enlaces de microonda dimensionada en cantidad de E1's.

El cálculo de la capacidad de cada elemento se realiza en función de la calidad de servicio que se desea prestar. Por tanto, debe incluirse un factor que define dicha calidad y el grado de prestación de dicho servicio. Este concepto se presenta en el inciso siguiente y complementa el cálculo de capacidad de la red.

### **2.5.1 Grado de servicio**

Los aspectos de diseño que permiten al usuario acceder a la red son la interfaz de radio la que demarca la cobertura y la disponibilidad de recursos en

la misma. Para esto debe establecerse un grado de calidad de servicio que garantice dicho acceso sin inconvenientes.

Esto se conoce como grado de servicio GoS (Grade of Service), que conceptualmente es la probabilidad porcentual de que no pueda iniciarse una llamada, por falta de los aspectos ya mencionados.

$$\text{GoS (\%)} = 100 \times p \quad (2.37)$$

con 
$$p = 1 - (1 - p_b) p_c \quad (2.38)$$

donde,

$p_b$       probabilidad de bloqueo.

$p_c$       probabilidad de cobertura.

De esto se deduce que un buen grado de servicio implica una alta probabilidad de cobertura y baja pérdida de llamadas.

Para mantener un buen grado de servicio en cobertura se debe tener una red muy densa que representa gran inversión, así mismo para garantizar baja probabilidad de pérdida de llamadas es necesario tener suficiente capacidad de canales tanto de señalización como de tráfico de voz y/o datos si fuese el caso.

### 2.5.2 Modelo B de erlang

El modelo asume que si una llamada es bloqueada esta no se re-origina inmediatamente sino que se dará un tiempo de espera. Esto significa que no se establecerán llamadas en cola. Para este modelo la probabilidad de bloqueo ó grado de servicio GoS, esta dada por la siguiente formula:

$$P(b) = \frac{\rho^C / C!}{\sum_{i=0}^C \rho^i / i!} \quad (2.39)$$

donde,

C número de canales.

$\rho$  tráfico ofrecido.

El modelo B de Erlang esta basado en tres premisas:

1. El sistema esta en equilibrio estadístico.
2. El tráfico ofrecido es conocido.
3. Las llamadas se generan estadísticamente según la ley de Poisson. Significa que aparecen en una distribución exponencial. Esto restringe a que una llamada bloqueada no se re-origina de inmediato.

Si se cumple con la distribución exponencial, el tráfico ofrecido se puede expresar como:

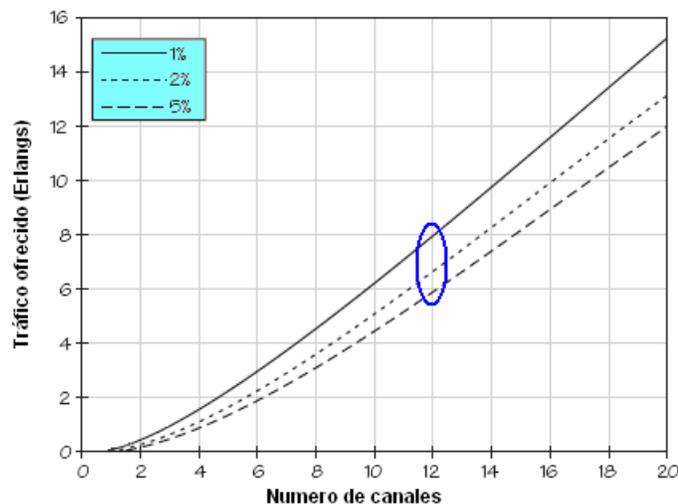
$$\rho = \lambda / \mu \quad (2.40)$$

donde,

$\lambda$  llamadas por unidad de tiempo (segundos).

$\mu$  duración de una llamada (segundos).

**Figura 27. Probabilidad de bloqueo.**



La figura 26, muestra una gráfica que indica la relación entre el tráfico ofrecido y el número de canales para tres diferentes probabilidades de bloqueo.

De la gráfica se interpreta que para 12 canales y con una probabilidad de bloqueo de 1%, se puede ofrecer 8 erlangs, no así para un bloqueo de 5% donde solo se ofrecen 6 erlangs.

### **2.5.3 Cuantificación de portadoras de tráfico de voz**

La cuantificación se realiza basada en los conceptos antes descritos, como son el grado de servicio y el modelo de B de erlang.

Se ha definido que la estación base contiene a la interfaz de aire y se asocia a la portadora de tráfico de voz cuya capacidad depende de la cantidad de canales disponibles en la misma y debe calcularse de manera que siempre hallan recursos disponibles cuando el cliente lo requiera.

Debe considerarse que los recursos han de mantenerse ocupados durante el mayor tiempo posible para que sea rentable, por lo tanto se debe tomar en cuenta un balance entre la oferta y la demanda. Con la idea de mantener dicho balance, se estima un porcentaje permisible de usuarios que pueden ser rechazados al momento de solicitar recursos. El valor típico de GoS es de 2%, según las normas de diseño de redes celulares.

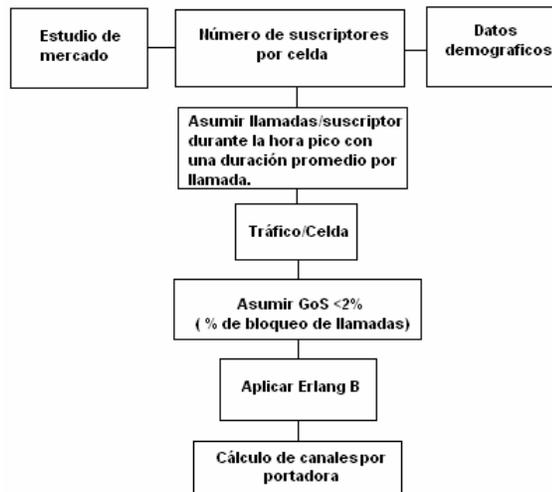
Este análisis se ha de realizar tomando en cuenta la hora cargada la celda y la hora cargada del sistema para considerar la máxima carga en los elementos de red, principalmente en las portadoras de la estación base.

Al diseñar una red celular se debe conocer el número de usuarios potenciales obtenido de las proyecciones realizadas por un departamento de mercadeo, así como también el tráfico que genera cada usuario basados en el comportamiento actual de la red.

Este tráfico generado por cada usuario se conoce como miliErlang (mE) que corresponde a una milésima de Erlang. Este valor es una característica propia de cada red, por lo que varía de una red a otra. Con dicha información se procede a calcular el número de circuitos necesarios para equipar una celda utilizando el modelo B de Erlang, tal como se describió en el inciso anterior.

Para realizar la cuantificación debe seguirse un proceso de cálculo o cuantificación como el que se muestra en la figura 27.

**Figura 28. Proceso de cuantificación de portadoras de voz.**



Es de hacer notar que este modelo matemático considera que el tiempo de espera de un solicitante cuando no hay recursos disponibles es cero dado que no se da un proceso de cola. Entonces, el resultado de la cuantificación

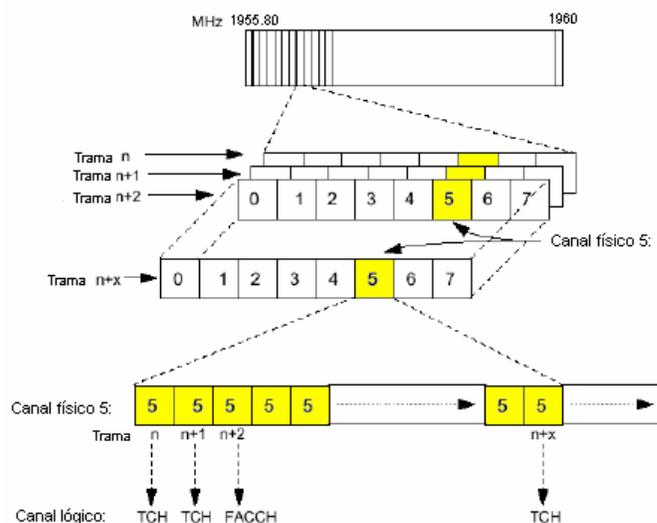
depende del adecuado dimensionamiento de la capacidad tanto de las portadoras como de resto del sistema.

Según la demanda de servicio, si ésta incrementa, para mantener la calidad ha de optimizarse é incrementarse la capacidad mediante el uso de técnicas tales como el control de potencia, reutilización de frecuencias, asignación adaptativa de canal (Full Rate, Half Rate) y control de cobertura a través del manejo de la inclinación de antenas.

En una red GSM, la capacidad esta dada por los canales de tráfico TCH y canales de señalización SDCCH.

Se considera un canal como una trama compuesta por 8 Time Slot, los que corresponden a 8 canales físicos establecidos sobre una portadora con un ancho de banda 200 Khz. De donde se determina que cada Time Slot (TS) tiene una duración de 0.577 ms.

**Figura 29. Trama GSM.**



#### **2.5.4 Cuantificación de portadoras para transmisión de datos vía GPRS**

La tecnología GPRS tiene como plataforma la tecnología de segunda generación (2G) GSM. Para poder realizar la transmisión de datos en GPRS (General Packet Radio Service) se han agregado algunos módulos que permitirían la conexión a Internet. Esta tecnología se basa en la transmisión de paquetes de datos.

GPRS surge debido a las limitaciones de GSM para la transmisión de datos. Entre estas se pueden mencionar:

1. Baja velocidad de transferencia de 9,6 Kbps.
2. Mayor tiempo de establecimiento de conexión, de 15 a 30 segundos.  
Además, las aplicaciones deben ser reinicializadas en cada sesión.
3. Pago por tiempo de conexión.
4. Problemas para mantener la conectividad en itinerancia (Roaming).

La combinación de estos factores negativos hace que GSM sea una tecnología mayoritariamente utilizada para la voz y no para los datos. Con la conmutación de paquetes la vía de conexión es mucho más utilizada ya que permite a los usuarios compartir eficientemente la interfaz de aire.

La compartición del recurso se realiza en base a multiplexación estadística, que significa que habrá un retardo variable en la red. Por tanto, los recursos de radio sólo son utilizados cuando hay datos para transmitir o recibir, aún cuando el usuario se mantiene conectado todo el tiempo.

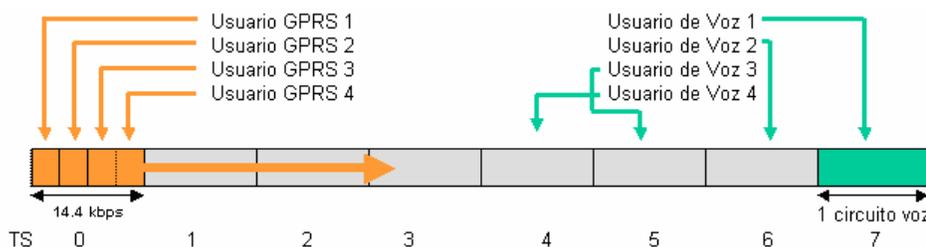
Su principal ventaja radica en la posibilidad de disponer de un terminal permanentemente conectado, facturando únicamente por el volumen de datos transferidos (enviados y recibidos) y no por el tiempo de conexión.

Con GPRS la velocidad de transmisión de datos esta entre un mínimo de 40 Kbps y un máximo de 115 Kbps, mientras que cada circuito de voz en GSM puede transmitir una conversación digital hasta 14kbps entre el móvil y una estación base. Además, GPRS permite compartir cada canal por varios usuarios, mejorando así la eficiencia en la utilización de los recursos de red.

El servicio GPRS une múltiples canales de voz para proveer un mayor ancho de banda para una conexión de datos. El ancho de banda del radio enlace permanece inalterado, este solo es compartido entre los usuarios de voz y datos. El operador de la red tiene la elección de priorizar a uno u otro.

Cada transreceptor de radio GSM esta provisto de ocho circuitos en un radio canal. Cada BTS puede tener uno o más transreceptor para proveer suficientes canales disponibles para los usuarios. Un usuario GPRS puede teóricamente usar todos los canales de un transreceptor ( $8 * 14 \text{ kbps}$ ) pero el operador probablemente reservara algunos canales para voz.

**Figura 30. Circuitos de canal compartidos GSM/GPRS**



En GPRS se han definido 4 esquemas de codificación de canal, usando 8 Time Slot's (TS).

Con CSC-4 podría llegarse hasta una tasa de 171.2 kbps. El canal físico dedicado al tráfico de GPRS es el PDCH, Packet Data Channel.

**Tabla IX. Esquemas de codificación.**

Esquema	Tasa (kbps)
CS-1	9.05
CS-2	13.4
CS-3	15.6
CS-4	21.4

Cada esquema de codificación (CS) incorpora un nivel diferente de verificación de la integridad de los datos transmitidos en la en la interfaz de aire.

Para un canal asignado existe una relación inversa entre la cantidad de datos que pueden ser transmitidos y la integridad de los mismos. Las tasas mostradas en la tabla IX, son validas únicamente en la interfaz de aire.

Las mayores tasas conseguidas en la interfaz de aire serán aquellas que se den con la mejor relación señal a ruido, que significa, baja interferencia y alta eficiencia del espectro utilizado. En estas condiciones cualquiera de los cuatro esquemas puede ser utilizado, logrando las mayores velocidades de transferencia.

Cuando la interferencia es alta, se producirá mayor cantidad de códigos de error. De modo que la velocidad versus la protección de errores, se convierte en un parámetro importante de capacidad que depende de la ubicación del usuario respecto a la radio base. A menor distancia de la misma, mayor nivel de señal y por ende mayor velocidad obtenida, consiguiendo que sea el esquema CS-4 el utilizado.

Es importante señalar que existen limitaciones técnicas para establecer la capacidad teórica de GPRS. Por tanto es difícil estimar la capacidad que estará disponible para los usuarios debido a la inherente limitación de la red y terminales. Entre esta se puede mencionar:

### 1. Asignación de Time Slots.

Debido a que GPRS y GSM utilizan el mismo recurso de radio, es poco probable que el operador de la red asigne los 8 time slot al tráfico GPRS, ya que el servicio de voz será prioritario. De manera que si no se asignan canales dedicados, GPRS ofrecerá una capacidad variable.

### 2. Restricciones en las terminales.

La limitante esta dictada por la cantidad de time slots que puede manejar un terminal en ambas direcciones (acceso de subida y acceso de bajada), aunque la evolución en la fabricación de los mismos reducirá esta limitante. La primera generación de terminales podían manejar un solo time slot en el acceso de subida y tres en el de bajada.

### 3. Disponibilidad de codigos de esquema (CS-1, 2,3, 4).

Deben estar definidos los cuatro esquemas en los terminales y al menos uno en la red, debido a que en la red la limitante esta en la capa de aplicación.

La capacidad para datos se ve reflejada en la disponibilidad de velocidades la que se ve restringida debido a factores tales como, cantidad de retransmisiones, calidad de servicio (QoS), nivel de compresión, aplicaciones utilizadas y número de conexiones GPRS simultáneas.

Por tanto específicamente el dimensionamiento de la red de radio depende de la relación entre el tráfico ofrecido proyectado por el operador, la calidad de servicio (QoS) deseada por el operador para sus clientes y de los

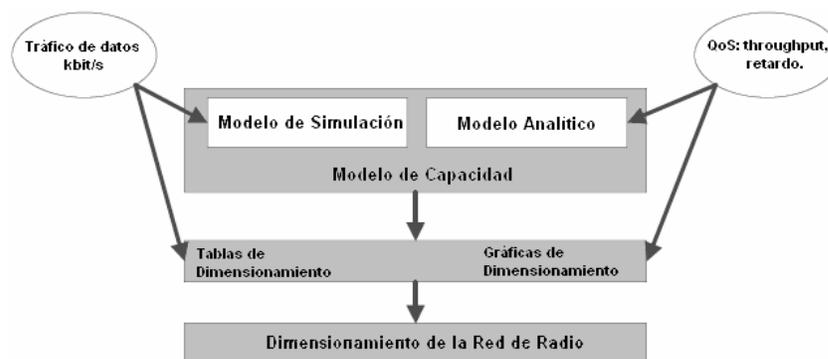
recursos de radio necesarios (número de PDCHs y de TRX), así como de la complejidad analítica dada por las cualidades del radio canal y del tráfico repentino (no aplica la formula Erlang B) por tratarse de un comportamiento particular de tráfico de datos.

De igual manera se debe considerar la complejidad del sistema ya que no existe ningún medio de prueba o ensayos prácticos con protocolos completos y/o componentes de software o de hardware disponibles para comprobar el comportamiento del tráfico de datos, por lo tanto se ha de realizar simulaciones por computadora con modelos de tráfico de datos. Para cuantificar los recursos de radio de la red GSM/GPRS se puede tener dos escenarios:

1. Recurso de radio compartido, donde los recursos no utilizados por el tráfico de voz pueden ser usados por GPRS (datos) y debe estimarse para esto un modelo de tráfico que evalúe tales condiciones.
2. Recurso dedicado, con esto se garantiza la disponibilidad de GPRS proveyendo PDCH's en función del tráfico ofrecido definido por el operador.

La figura 30, muestra el proceso para la cuantificación de los recursos de radio GPRS.

**Figura 31. Proceso de cuantificación de recursos para GPRS.**



## **2.6 Enlaces de transmisión vía microonda**

Las microondas son todas aquellas bandas de frecuencia en el rango de 1 GHz en adelante, el término microondas viene dado por la longitud de onda en el orden de micrones, sin embargo el término microondas se le asocia a la tecnología que utiliza un par de antenas con línea de vista conectadas a un radio transmisor/receptor de radio frecuencia (RF). Este conjunto de elementos conforman un enlace vía microonda.

Los operadores tanto de redes fijas como móviles utilizan microondas para superar el cuello de botella de la última milla de otros medios de comunicación, aprovechando la alta capacidad para la transmisión de tráfico de voz y/o datos.

Las principales frecuencias utilizadas en microondas se encuentran alrededor de los 10-15 GHz, 18, 23 y 26 GHz, las cuales son capaces de conectar dos localidades hasta 24 kilómetros de distancia. Los equipos de microondas que operan a frecuencias más bajas, entre 2-8 GHz, puede transmitir a distancias entre 30 y 45 kilómetros. La única limitante de estos enlaces es la curvatura de la tierra, aunque con el uso de repetidores esta se puede extender a muchos kilómetros más.

### **2.6.1 Pérdida en espacio libre**

La propagación de espacio libre se refiere a la propagación de una onda electromagnética en un medio dieléctrico homogéneo ideal que se pueda considerar infinito en todas las direcciones y donde las pérdidas son función únicamente de la frecuencia y distancia tal como lo muestra la siguiente relación:

$$P_r/P_t = 1/(4 \pi df/c)^2 = 1/[4 \pi (d / \lambda)]^2 \quad (2.41)$$

donde,

$P_t$  Potencia de transmisión en espacio libre.

$P_r$  Potencia de recepción en espacio libre

$\lambda$  Longitud de onda.

$c$  Velocidad de la luz.

La pérdida en espacio libre se define entonces como la menor pérdida posible entre un transmisor y un receptor. Básicamente, el cálculo de la pérdida de transmisión de espacio libre considera fuentes isotrópicas en ambos extremos. Para un enlace A - B, la potencia de recepción en espacio libre esta dada por:

$$P_r(B) = EIRP_A - P_{LA} + G_A - PEL + G_B - P_{LB} \quad (2.42)$$

donde,

$P_r(B)$  Potencia de recepción extremo B.

EIRP Effective Isotropic Radiated Power

$P_{LA}$  Perdida en la línea extremo A.

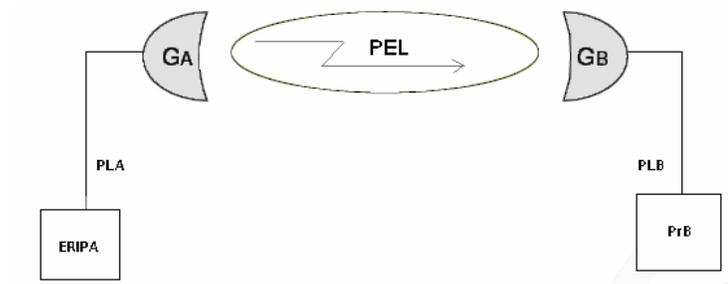
$G_A$  Ganancia en la antena extremo A.

PEL Perdida de Espacio Libre.

$G_B$  Ganancia en la antena extremo B.

$P_{LB}$  Perdida en la línea extremo B.

**Figura 32. Perdida de espacio libre.**

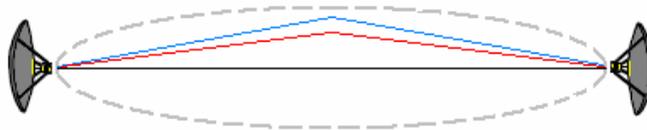


## 2.6.2 Radio de Fresnel

Las ondas electromagnéticas al viajar no lo hacen solamente en línea recta y al ser emitidas por una fuente se propagan según el patrón de radiación de la antena que las emite.

Al propagarse en varias direcciones, existe una zona en la que se concentra en mayor grado la energía a lo que se le conoce como lóbulo principal el que, en algunas aplicaciones se requiere sea direccional o estrecho, sin embargo parte de la energía se desvía algunos grados de la línea directa de enlace y de la misma manera, la antena receptora alcanza a recibir energía de trayectorias distintas a la línea vista como se muestra en la figura 32.

**Figura 33. Trayectorias de propagación.**



Las zonas o radios de Fresnel son elipsoides concéntricos que rodean el camino de una onda electromagnética que se propaga en el espacio.

La primera zona de Fresnel es la superficie que contiene cada punto para el cual, la suma de las distancias de ese punto a los dos extremos del camino (transmisor y receptor) sea exactamente media longitud de onda mayor que la ruta directa entre los extremos.

Esto puede representarse a través de la relación:

$$AB = AC + BC - \lambda/2. \quad (2.43)$$

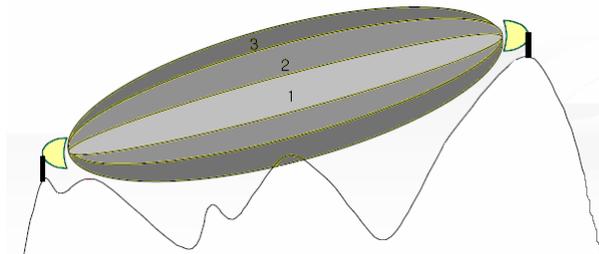
La figura 33, muestra el esquema de la primera zona de Fresnel.

**Figura 34. Primera zona de Fresnel.**



Todas las trayectorias comprendidas dentro de la primera zona de Fresnel llegarán con cierto desfase menor a  $180^\circ$  o media longitud de onda. La segunda zona de Fresnel incluirá todas las trayectorias con desfase entre  $180^\circ$  y  $360^\circ$ . Si la onda propagada sufre desfase de  $360^\circ$  llegará en fase con las ondas originales y se tendrá un efecto de adición. Por otra parte, si la onda de radio llega desfasada con la original, se tendrá un efecto de cancelación.

**Figura 35. Zonas de Fresnel.**



Las zonas pares (2, 4, 6,8...) tienen un efecto de cancelación mientras que las zonas impares (1, 3, 5,7....) tienen efecto de adición.

La sección transversal de la primera zona de Fresnel es circular. Las zonas subsecuentes de Fresnel son anulares en la sección transversal, y concéntricas con las primeras.

El radio de la sección transversal de la primera zona de Fresnel tiene su máximo en el centro del enlace. En este punto, el radio  $r$  se puede calcular como:

$$r = 548 \sqrt{d/4f} \quad (2.44)$$

donde,

- $r$  radio en metros (m).
- $d$  distancia en kilómetros (Km.).
- $f$  frecuencia (MHz).

Y en forma general para otros radios o zonas:

$$r_n = 548 \sqrt{nd_1d_2/fd} \quad (2.45)$$

donde,

- $r_n$  radio de la  $n$ ésima zona de Fresnel.
- $d_1$  distancia desde el transmisor al objeto en km.
- $d_2$  distancia desde el objeto al receptor en km.
- $d$  distancia total del enlace en km.
- $f$  frecuencia en MHz.
- $n$   $n$ ésima zona de Fresnel.

### 2.6.3 Selección de antenas

Las antenas son seleccionadas durante el proceso de planificación de la red de microonda. Para esto debe considerarse varios parámetros y aspectos físicos que ayudan a dicha definición. Entre los parámetros se pueden mencionar:

1. Impedancia.
2. Ganancia.
3. Polarización.

4. Ancho de banda o frecuencia de operación.
5. Patrón de radiación.

El aspecto físico más importante es el diámetro. Este se determina en función de los parámetros antes indicados y su relación respecto a la distancia del enlace. Esto generalmente se puede realizar con el uso de herramientas de cómputo que involucra los cálculos necesarios para llegar a definir dicho diámetro.

Las antenas de microondas son elementos radiantes parabólicos que concentra la onda incidente en su foco, para ser recibida por un detector. Estas antenas son utilizadas para altas frecuencias y tienen una ganancia elevada.

En general, se puede calcular la ganancia de este tipo de antenas con la siguiente expresión,

$$G = 4 \pi (A / \lambda^2) \quad (2.46)$$

donde,

A            área de la superficie.

$\lambda$            longitud de onda.

El tamaño de las antenas está relacionado con la longitud de onda de la señal de radiofrecuencia transmitida o recibida, debiendo ser, en general, un múltiplo o submúltiplo exacto de esta longitud de onda.

Por tanto, a medida que se van utilizando frecuencias mayores, las antenas disminuyen su tamaño. Y si a la vez se requiere tener una antena de mayor ganancia a una frecuencia dada, basta con aumentar el área de apertura y esta será capaz de percibir mayor cantidad de energía.

Existen varias medidas estándar de antenas. Algunas están integradas con la unidad de radio y su uso depende de las consideraciones y circunstancias de diseño para su selección.

#### **2.6.4 Calidad del radio enlace**

Por radioenlace se entiende el tramo de transmisión directa entre dos estaciones adyacentes, ya sean terminales o repetidoras, de un sistema de microondas. El enlace comprende los equipos correspondientes de las dos estaciones, como así mismo las antenas y el trayecto de propagación entre ambas. De acuerdo con las recomendaciones del CCIR, los enlaces, deben tener una longitud media de 50 Km.

La calidad del radio enlace, además de considerar equipos y elementos, considera las anomalías de propagación tal como, el gradiente del índice de refracción o factor K que corresponde al radio eficaz de la tierra. Este se define como el grado y la dirección de la curvatura que describe el haz de microondas durante su propagación, siendo:

$$K = R' / R_t \quad (2.47)$$

donde,

$R_t$  radio real terrestre.

$R'$  radio de la curvatura ficticia de la tierra.

Cualquier variación del índice de refracción provocada por la alteración de las condiciones atmosféricas, se expresa como un cambio del factor K. En condiciones atmosféricas normales, el valor de K varía desde 1.2 (4/3) para regiones elevadas y secas, hasta 2 o 3 para zonas costeras húmedas. Cuando K se hace infinito, la tierra parece ante el haz como perfectamente plana.

Si el valor de K disminuye a menos de 1, el haz se curva en forma opuesta a la curvatura terrestre. Este efecto puede obstruir parcialmente al trayecto de transmisión, produciéndose así una difracción. El valor de la curvatura terrestre para los distintos valores de K se calcula mediante la siguiente fórmula

$$h = d1 d2 / 1.5 K \quad (2.48)$$

donde,

- h        Distancia vertical desde una línea horizontal de referencia, en pies.
- d1       Distancia desde un punto hasta uno de los extremos del trayecto, en millas.
- d2       Distancia desde el mismo punto anterior hasta el otro extremo del trayecto, en millas.
- K        Factor del radio eficaz de la tierra.

La alteración del valor de K desde 1 hasta infinito (rango normal de K), tiene escasa influencia en el nivel de intensidad con que se reciben las señales, cuando el trayecto se ha proyectado en forma adecuada.

Las anomalías de propagación ocurren cuando K es inferior a 1, por lo que el trayecto podría quedar obstruido y por lo tanto sería vulnerable a los fuertes desvanecimientos provocados por el efecto de trayectos múltiples.

Cuando K forma un valor negativo, el trayecto podría resultar atrapado entre capas atmosféricas y en consecuencia sería susceptible a sufrir desvanecimiento total.

Para estimar la calidad y/o confiabilidad de un enlace, se toma en cuenta el desvanecimiento, el cual normalmente se debe a los cambios atmosféricos y

a las reflexiones del trayecto de propagación al encontrar superficies terrestres o acuáticas.

La intensidad del desvanecimiento aumenta en general con la frecuencia y la longitud de trayecto. Por lo tanto, los cálculos estimados y cómputos de interrupciones del servicio por fallas de propagación, emplean procedimientos parciales o totalmente empíricos, considerando los parámetros de frecuencia y distancia, así como las anomalías antes mencionadas.

Los resultados de dichos cálculos generalmente se dan como tiempo fuera de servicio (TFS) anual por enlace o porcentaje de confiabilidad por enlace.

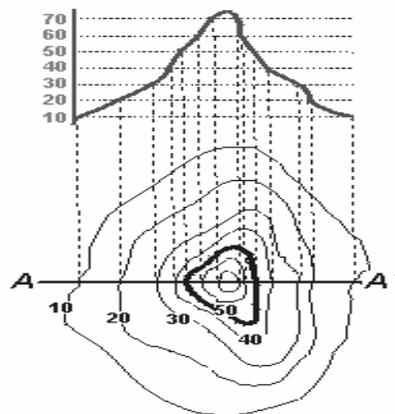
Las normas de seguridad de funcionamiento de los sistemas de microondas han alcanzado gran rigidez. Normalmente, los sistemas de telecomunicaciones se basan en una confiabilidad media del orden de 99.9998%, o sea un máximo de 30 segundos de interrupciones por año, principalmente en los sistemas de microondas de largo alcance.

### **2.6.5 Perfiles**

Un perfil topográfico es un corte vertical y acotado de una región que sirve para poner de manifiesto el relieve. Para realizar un perfil topográfico se debe establecer una escala de alturas en el eje de ordenadas. Si no se quiere exagerar el relieve la escala del eje de ordenadas (alturas) debe ser la misma que tiene el mapa en el eje de abscisas. Los pasos manuales para realizar un perfil topográfico son:

1. Definir el rango de variación de altitud. Colocar en el eje de ordenadas las diferencias entre las cotas máxima y mínima que haya en el perfil del corte, no haciendo falta que empiece en cero.
2. Colocar papel milimetrado sobre el perfil que se quiera realizar, y marcar en este todas las intersecciones con las curvas de nivel.
3. Representar las diferentes alturas en función de la escala vertical que haya considerado.
4. Por último unir todos los puntos, definiendo así el perfil topográfico.

**Figura 36. Perfil extraído manualmente.**



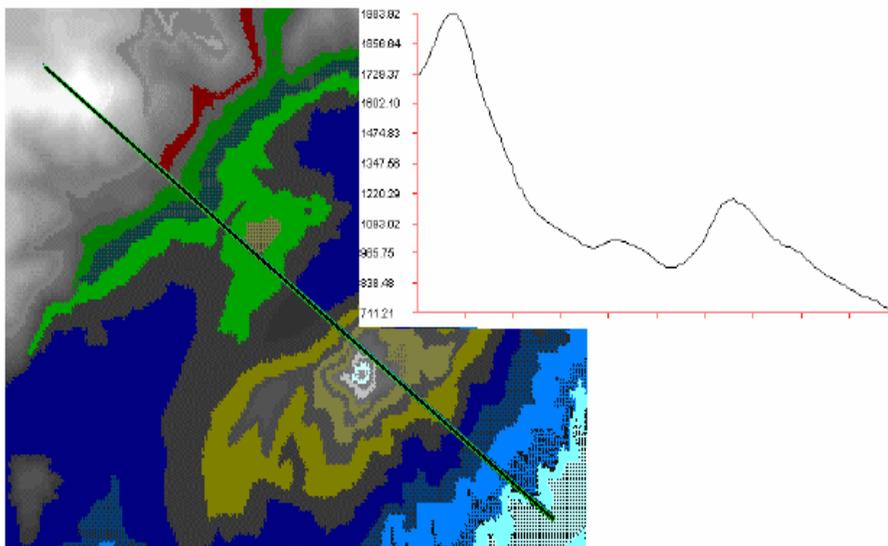
El perfil debe tener escala (gráfica y numérica), y orientación con respecto los puntos cardinales. Actualmente, los perfiles topográficos se realizan con la ayuda de herramientas de cómputo. Estos programas manejan bases de datos conteniendo mapas digitalizados con sus respectivas alturas, pudiendo mostrar bloques o líneas equipotenciales que reflejan los diferentes accidentes topográficos o relieves. La herramienta digital esta capacitada para realizar diversos cálculos. Entre los que se puede mencionar:

1. Cálculo de pendientes.
2. Cálculo de orientación.
3. Cálculo de curvatura.

4. Cálculo de rugosidad del terreno.
5. Cálculo de iluminación.
6. Cálculo de sombreado.

Los mapas digitales son básicamente un modelo numérico del terreno sobre el cual se realizan los diferentes cálculos antes indicados. La figura 36, muestra un perfil realizado digitalmente.

**Figura 37. Perfil digital.**



### **3. DESARROLLO DEL PROYECTO**

El proyecto de ampliación de cobertura consiste en incluir a todos los municipios del departamento de El Quiché dentro de la red de telefonía móvil celular y ofrecer todos los servicios y beneficios que la misma conlleva.

#### **3.1 Diseño de las estaciones base**

El diseño de la estación se basa en garantizar la cobertura en el poblado y ofrecer la comunicación simultánea sin bloqueo a los abonados que habitan la cabecera municipal la que según registros estadísticos tomados del INE ésta corresponde a un 30% de la población del municipio y son el segmento a penetrar por el mercado de telefonía celular.

##### **3.1.1 Cálculo de la capacidad demandada**

Telefonica, estadísticamente tiene registro de otros mercados similares del uso y/o demanda de telefonía móvil celular cuya medición en ingeniería se conoce como tráfico por usuario y cuyo valor es de 20miliErlang.

Con estos datos se ha estimado el tráfico esperado (Erlangs) en cada municipio y resulta de multiplicar los miliErlangs por usuario por el número de usuarios esperados.

La tabla V resume el tráfico esperado (Erlangs) para cada municipio en base a los usuarios potenciales presentados en el análisis de mercado del Capítulo 1.

**Tabla X. Tráfico esperado por municipio**

No.	Municipio	Usuarios Potenciales	Tráfico esperado (Erlangs)
1	Canillá	175	3.50
2	Chajul	1,138	22.76
3	Chicamán	495	9.90
4	Chiché	356	7.11
5	Chichicastenango	2,196	43.92
6	Chinique	143	2.87
7	Cunén	530	10.61
8	Ixcán	1,657	33.14
9	Joyabaj	881	17.61
10	Nebaj	1,301	26.01
11	Pachalum	138	2.77
12	Patzité	104	2.09
13	Sacapulas	742	14.85
14	San Andrés Sajcabajá	365	7.29
15	San Antonio Ilotenango	464	9.28
16	San Bartolomé Jocotenango	127	2.54
17	San Juan Cotzal	415	8.30
18	San Pedro Jocopilas	396	7.91
19	Santa Cruz Del Quiché	971	19.43
20	Uspantán	740	14.81
21	Zacualpa	250	4.99

### 3.1.2 Cálculo del número y capacidad de las estaciones base

El número de radio bases necesarias para cada poblado depende del tráfico esperado (Erlangs), del número de canales requeridos calculado en base éste y de los criterios de cobertura definidos en el capítulo 2 para garantizar la misma en cada lugar. La tabla de Erlang B se muestra en la tabla XI.

**Tabla XI. Tabla de Erlang B**

Tabla B de Erlang al 2% de Bloqueo					
Canales	Erlang	Canales	Erlang	Canales	Erlang
1	0.02	21	14.04	41	31.92
2	0.22	22	14.90	42	32.84
3	0.60	23	15.76	43	33.76
4	1.09	24	16.63	44	34.68
5	1.66	25	17.50	45	35.61
6	2.28	26	18.38	46	36.53
7	2.94	27	19.26	47	37.46
8	3.63	28	20.15	48	38.39
9	4.34	29	21.04	49	39.32
10	5.08	30	21.93	50	40.26
11	5.84	31	22.83	51	41.19
12	6.61	32	23.72	52	42.12
13	7.40	33	24.63	53	43.06
14	8.20	34	25.53	54	44.00
15	9.01	35	26.43	55	44.94
16	9.83	36	27.34	56	45.88
17	10.66	37	28.25	57	46.82
18	11.49	38	29.17	58	47.76
19	12.33	39	30.08	59	48.70
20	13.18	40	31.00	60	49.64

Conociendo el número de canales que se requiere para cursar el tráfico esperado, y sabiendo que las radio bases tienen una capacidad definida de canales, entonces el número de radio bases para cada lugar será función del número de sectores y los canales respectivos definidos por el diseño.

La tecnología GSM utiliza una celda independiente para cada sector u objetivo de cobertura. Por tanto una radio base puede tener 1,2 o 3 celdas o sectores con una capacidad máxima 29 canales de voz por celda, equivalente a 21 Erlang y 1 canal para la portadora o BCCH y 2 para el canal de señalización SDCCH, con esto se completa la capacidad total de la celda que suma 32 canales distribuidos en 4 radios de 8 canales cada uno.

En la tabla XII se muestra en base al tráfico esperado la cantidad de canales y celdas mínimas requeridas por municipio.

**Tabla XII. Cantidad de celdas por municipio.**

No.	Municipio	Tráfico esperado (Erlangs)	Canales requeridos	Celda 2 Portadoras (14Ch)
1	Canillá	3.50	8	1
2	Chajul	22.76	31	3
3	Chicamán	9.90	17	2
4	Chiché	7.11	13	1
5	Chichicastenango	43.92	54	4
6	Chinique	2.87	7	1
7	Cunén	10.61	17	2
8	Ixcán	33.14	43	4
9	Joyabaj	17.61	26	2
10	Nebaj	26.01	35	3
11	Pachalum	2.77	7	1
12	Patzité	2.09	6	1
13	Sacapulas	14.85	22	2
14	San Andrés Sajcabajá	7.29	13	1
15	San Antonio Ilootenango	9.28	16	2
16	San Bartolomé Jocotenango	2.54	7	1
17	San Juan Cotzal	8.30	15	2
18	San Pedro Jocopilas	7.91	14	1
19	Santa Cruz Del Quiché	19.43	28	2
20	Uspantán	14.81	22	2
21	Zacualpa	4.99	10	1

### 3.1.3 Asignación de frecuencias de las estaciones base

Como parte del diseño, se establece como parámetros de configuración la asignación de frecuencias a cada celda de cada radio base. Así mismo se definen las frecuencias de salto y el número de secuencia de salto de ésta HSN y el código de identificación de la radio base, BSIC.

Se enfatiza que las frecuencias a utilizar son parte del espectro asignado a Telefonica y por lo tanto debe optimizarse su uso, haciendo un plan dentro del

rango disponible. Este rango pertenece a la banda B con canalización estándar en GSM de 200Khz. Los canales disponibles van desde el 628 hasta el 685.

De este rango de frecuencias, se ha seleccionado 30 canales para desarrollar el plan de frecuencias para cada portadora que transmite el respectivo BCCH. El procedimiento a utilizar es separar las frecuencias en grupos de 3 canales como se muestra en la tabla XIII.

**Tabla XIII. Grupos de canales BCCH.**

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	628	629	630	631	632	633	634	635	636	637
2	638	639	640	641	642	643	644	645	646	647
3	648	649	650	651	652	653	654	655	656	657

Las frecuencias restantes se utilizan para el salto en frecuencia, agrupados como se muestra en la tabla XIV.

**Tabla XIV. Grupos de frecuencias para Hopping o salto.**

FRECUENCIAS DE HOPPING									
1	659	662	665	668	671	674	677	680	683
2	660	663	666	669	672	675	678	681	684
3	661	664	667	670	673	676	679	682	685

Estos parámetros de frecuencia definidos se registran también en la hoja de configuración de radio frecuencia que se mostrará para cada municipio los incisos siguientes.

### **3.1.4 Selección de los emplazamientos y configuración de las estaciones base**

Dado que Telefonica ha optado por proveerse de equipo Ericsson el modelo más utilizado es la radio base RBS 2106 que como se explico en el Capitulo 2 es para uso en intemperie que no requiere de resguardo y es de rápida y fácil instalación.

Si algún sitio no requiere por circunstancias de diseño las tres celdas disponibles, se estará configurando de dos sectores y aunado a esto se establece la cantidad de portadoras a utilizar.

Es de hacer notar que las celdas indicadas soportan el tráfico inicial, sin embargo por aspectos de diseño de cobertura en algunos municipios se requiere de dos y hasta tres sectores. Dichos sectores en algunos casos deben compartir los recursos de capacidad dada la demanda de cada municipio.

La localización geográfica de las estaciones base en cada lugar se ha diseñado de tal manera que la distribución del tráfico sea uniforme entre celdas. La planificación y diseño se ha logrado utilizando la herramienta de predicción de propagación – Planet – como apoyo para definir los parámetros de radio frecuencia, tales como, altura, orientación e inclinación de antenas, tipo y modelo de las mismas y la potencia de transmisión. Con estos parámetros se garantiza la huella de cobertura en interiores en el casco urbano de cada población.

A continuación se presenta el resultado del diseño final de cada municipio mostrando el plot de cobertura sobre un mapa en escala 1:50,000 de cada población y la hoja de configuración final respectiva.

Los niveles de señal definidos y que se muestran se han dividido en 4 rangos para su visualización y se catalogan e interpretan tal como se muestra figura 37.

**Figura 38. Niveles de señal**

VERDE	Nivel de señal para interiores
AMARILLO	Nivel de señal para interiores
ROJO	Nivel de señal para exteriores
AZUL	Nivel de señal no garantizado

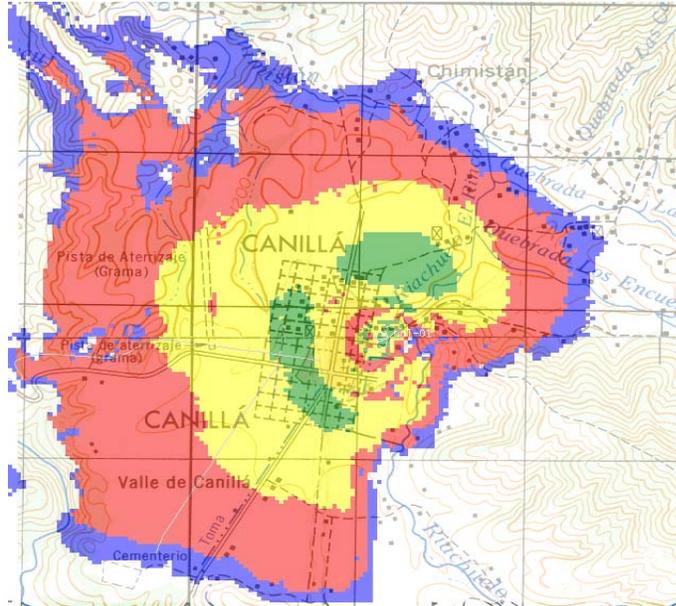
#### **3.1.4.1 Canillá**

De acuerdo al cálculo de tráfico esperado, con una portadora por cada celda es suficiente para soportar la demanda de este municipio, sin embargo debido configuración mínima de la RBS se configura como 1+1+2. Esta configuración significa que un equipo de radio se compartirá entre dos celdas o sectores, tal como se definió en el Capítulo 2.

De manera que el criterio de diseño queda en función de la cobertura y la misma se ha establecido con la herramienta de predicción y con estos elementos se define que con una radio base es suficiente para brindar los servicios de telefonía móvil celular en este municipio.

La figura 38 muestra el mapa de la cabecera municipal de Canillá con el respectivo plot de cobertura. La tabla XV, muestra la hoja de configuración del sitio.

**Figura 39. Mapa y Plot de Cobertura de Canillá**



Fuente: Mapa del Instituto Geográfico Nacional de Guatemala

**Tabla XV. Hoja de configuración de sitio Canillá.**

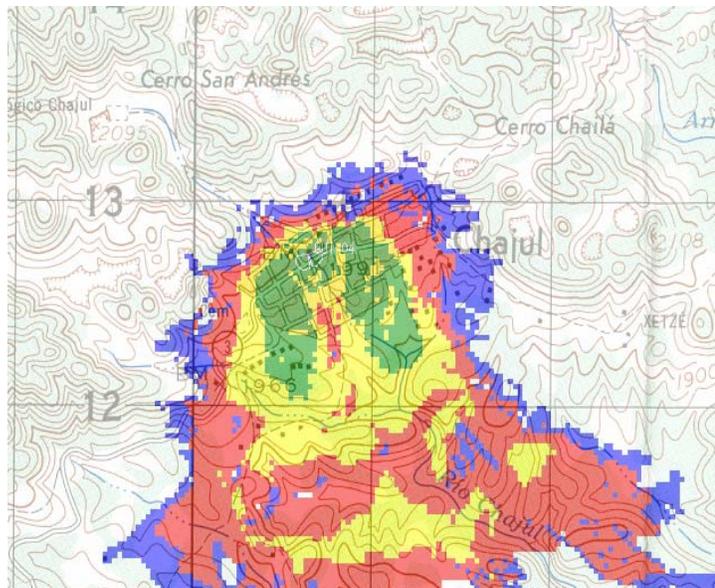
HOJA DE CONFIGURACIÓN DE SITIO			
NOMBRE	CANILLÁ		
LATITUD	15° 10' 0.2" N		
LONGITUD	90° 50' 41.4" W		
ALTURA SNM	1260 m		
TIPO TORRE	AUTO SOPORTADA		
ALTURA	60 m		
MODELO RBS	2106		
No. CELDAS	3		
CONFIGURACIÓN DE RF			
SECTOR	A	B	C
ORIENTACIÓN (°)	10	230	280
ALTURA (m)	60	60	60
INCLINACIÓN (°)	6	2	2
MODELO ANTENA	RV651806	RV651806	RV651806
PORTADORAS	1	1	2
POTENCIA (dBm)	45	45	45
CONFIGURACIÓN LÓGICA			
BCCH	628	638	648
BSIC	1	1	1
HSN	1	1	1
GRUPO HOPPING	1	2	3
MAIO	0, 2, 4	1,3,5	0, 2, 4

### 3.1.4.2 Chajul

Del diseño realizado, la cobertura de Chajul se logra con una configuración de 2 sectores, sin embargo el tráfico esperado es de 22.76 erlangs y por lo tanto el mismo debe ser distribuido en 2 y 4 portadoras respectivamente y con una radio base es suficiente para soportar la demanda y cubrir el poblado con calidad de señal en interiores.

La figura 39 muestra el plot de cobertura y la tabla XVI, la respectiva hoja de configuración.

**Figura 40. Mapa y Plot de Cobertura de Chajul**



Fuente: Mapa del Instituto Geográfico Nacional de Guatemala

**Tabla XVI. Hoja de configuración de sitio Chajul.**

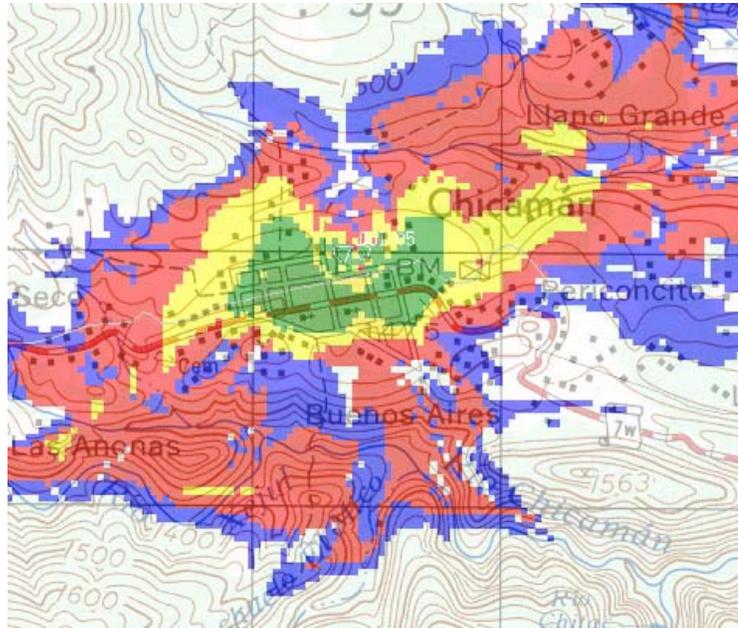
HOJA DE CONFIGURACIÓN DE SITIO			
NOMBRE	CHAJUL		
LATITUD	15° 29' 11.5" N		
LONGITUD	91° 02' 4.5" W		
ALTURA SNM (m)	1995		
TIPO TORRE	AUTO SOPORTADA		
ALTURA (m)	40		
MODELO RBS	2106		
No. CELDAS	2		
CONFIGURACIÓN DE RF			
SECTOR	A	B	C
ORIENTACIÓN (°)	110	220	N/A
ALTURA (m)	40	40	N/A
INCLINACIÓN (°)	6	6	N/A
MODELO ANTENA	RV651804	RV651804	N/A
PORTADORAS	2	4	N/A
POTENCIA (dBm)	45	45	N/A
CONFIGURACIÓN LÓGICA			
BCCH	631	641	N/A
BSIC	4	4	N/A
HSN	4	4	N/A
GRUPO HOPPING	1	2	N/A
MAIO	0, 2, 4	1,3,5	N/A

### 3.1.4.3 Chicamán

Este municipio ha sido diseñado en función de la cobertura y con 2 sectores se cubre con calidad se señal en interiores todo el poblado. El tráfico esperado es de 9.9 erlangs y con 2 portadoras por sector se soporta dicha demanda.

En base a lo anteriormente indicado, con una radio base es suficiente para soportar la demanda y garantizar la cobertura.

**Figura 41. Mapa y Plot de Cobertura de Chicaman**



Fuente: Mapa del Instituto Geográfico Nacional de Guatemala

**Tabla XVII. Hoja de configuración de sitio Chicamán.**

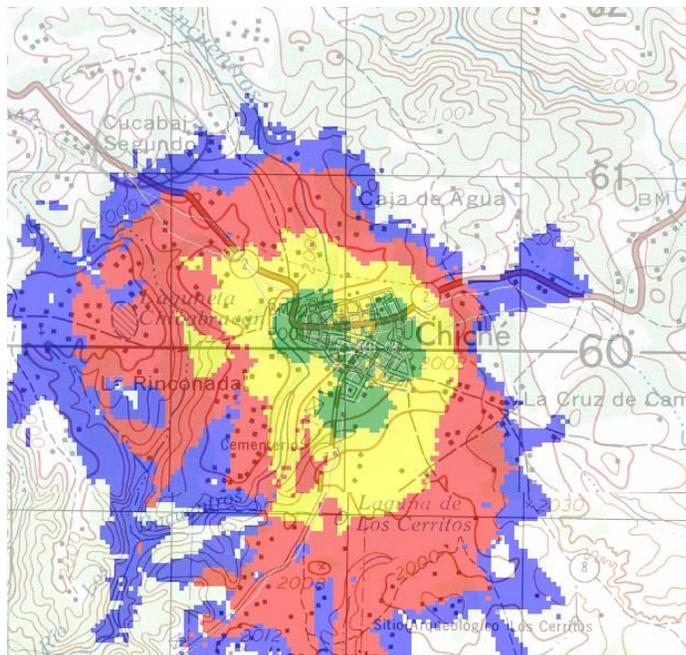
HOJA DE CONFIGURACIÓN DE SITIO			
NOMBRE	CHICAMÁN		
LATITUD	15° 20' 52.3" N		
LONGITUD	90° 47' 52.5" W		
ALTURA SNM (m)	1468		
TIPO TORRE	AUTO SOPORTADA		
ALTURA (m)	76		
MODELO RBS	2106		
No. CELDAS	2		
CONFIGURACIÓN DE RF			
SECTOR	A	B	C
ORIENTACIÓN (°)	110	240	N/A
ALTURA (m)	40	40	N/A
INCLINACIÓN (°)	2	4	N/A
MODELO ANTENA	RV651804	RV651804	N/A
PORTADORAS	2	2	N/A
POTENCIA (dBm)	45	45	N/A
CONFIGURACIÓN LOGICA			
BCCH	632	642	N/A
BSIC	5	5	N/A
HSN	5	5	N/A
GRUPO HOPPING	1	2	N/A
MAIO	0, 2, 4	1,3,5	N/A

### 3.1.4.4 Chiché

De este municipio se espera un tráfico de 7.11 erlangs, aunque es un valor bajo, para ser cubierto se requiere de tres sectores debido a la localización y distribución urbana del mismo por lo que la demanda será distribuida en estos con una configuración de 1+1+2 portadoras respectivamente.

De igual manera con una radio base es suficiente para cumplir con la condición de cubrir en interiores todo el poblado y soportar la demanda de tráfico. Es importante reiterar que dicha predicción se ha realizado con la herramienta de propagación –Planet-.

**Figura 42. Mapa y Plot de Cobertura de Chiché**



Fuente: Mapa del Instituto Geográfico Nacional de Guatemala

**Tabla XVIII. Hoja de configuración de sitio Chiché.**

HOJA DE CONFIGURACIÓN DE SITIO			
NOMBRE	CHICHÉ		
LATITUD	15° 00' 32.1" N		
LONGITUD	91° 03' 55.8" W		
ALTURA SNM (m)	2002		
TIPO TORRE	AUTO SOPORTADA		
ALTURA (m)	60		
MODELO RBS	2106		
No. CELDAS	3		
CONFIGURACIÓN DE RF			
SECTOR	A	B	C
ORIENTACIÓN (°)	70	180	300
ALTURA (m)	40	40	40
INCLINACIÓN (°)	4	2	2
MODELO ANTENA	RV651802	RV651802	RV651802
PORTADORAS	1	1	2
POTENCIA (dBm)	45	45	45
CONFIGURACIÓN LOGICA			
BCCH	633	643	653
BSIC	6	6	6
HSN	6	6	6
GRUPO HOPPING	1	2	3
MAIO	0, 2, 4	1,3,5	0, 2, 4

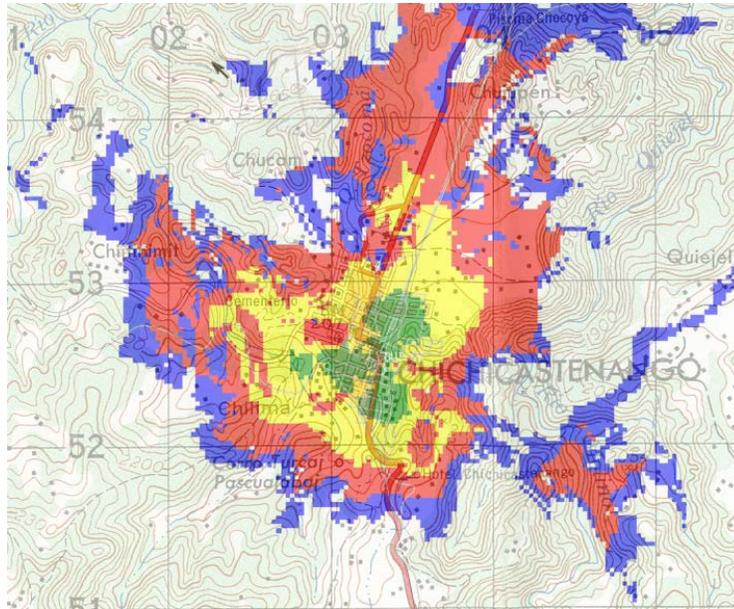
### 3.1.4.5 Chichicastenango

Este poblado es de suma importancia en el país debido al interés turístico que representa y al comercio adicional que esta actividad promueve. Se observa que la densidad de población y el tráfico esperado es el mayor del departamento con 43.92 erlangs con lo que la demanda es alta y al mismo tiempo se debe garantizar la calidad de cobertura en interiores en todo el poblado.

Para esto se ha definido en el diseño que una radio base es suficiente, pero con 8 portadoras distribuidas en los mismos con una configuración 4+2+2.

La figura 42 muestra el plot de cobertura de Chichicastenango y la tabla XIX la configuración del sitio.

**Figura 43. Mapa y Plot de Cobertura de Chichicastenango**



Fuente: Mapa del Instituto Geográfico Nacional de Guatemala

**Tabla XIX. Hoja de configuración de sitio Chichicastenango.**

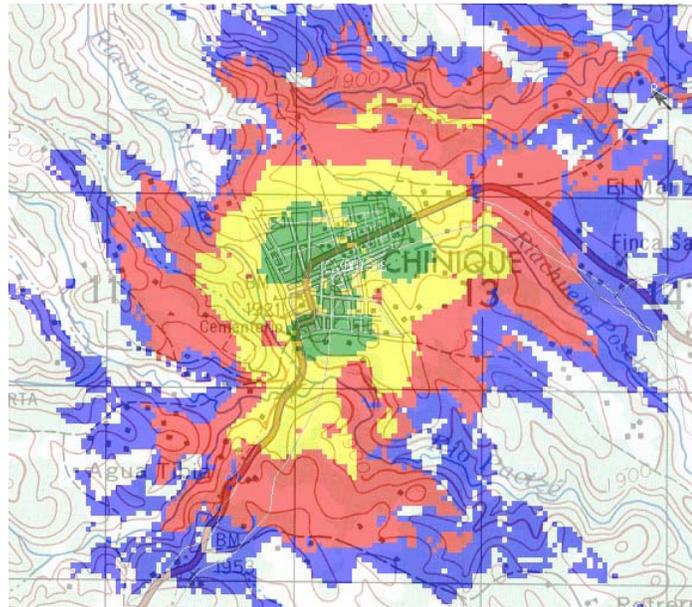
HOJA DE CONFIGURACIÓN DE SITIO			
NOMBRE	CHICHICASTENANGO		
LATITUD	14° 56' 36" N		
LONGITUD	91° 06' 39" W		
ALTURA SNM (m)	2061		
TIPO TORRE	AUTO SOPORTADA		
ALTURA (m)	76		
MODELO RBS	2106		
No. CELDAS	3		
CONFIGURACIÓN DE RF			
SECTOR	A	B	C
ORIENTACIÓN (°)	20	150	270
ALTURA (m)	40	40	40
INCLINACIÓN (°)	2	0	2
MODELO ANTENA	RV651802	RV651802	RV651802
PORTADORAS	4	2	2
POTENCIA (dBm)	45	45	45
CONFIGURACIÓN LÓGICA			
BCCH	630	640	650
BSIC	3	3	3
HSN	3	3	3
GRUPO HOPPING	1	2	3
MAIO	0, 2, 4	1,3,5	0, 2, 4

### 3.1.4.6 Chinique

Al igual que los anteriores municipios con bajo tráfico esperado, esté con 2.87 erlangs, es un valor bajo, pero para ser cubierto se requiere de tres sectores debido a la localización y distribución urbana del mismo por lo que la configuración del sitio se ha diseñado con 1+1+2 portadoras por sector, por ser la configuración mínima de una radio base.

Por lo tanto es suficiente una RBS para cumplir con la condición de cubrir en interiores todo el poblado y manejar la demanda de tráfico.

**Figura 44. Mapa y Plot de Cobertura de Chinique**



Fuente: Mapa del Instituto Geográfico Nacional de Guatemala

**Tabla XX. Hoja de configuración de sitio Chinique**

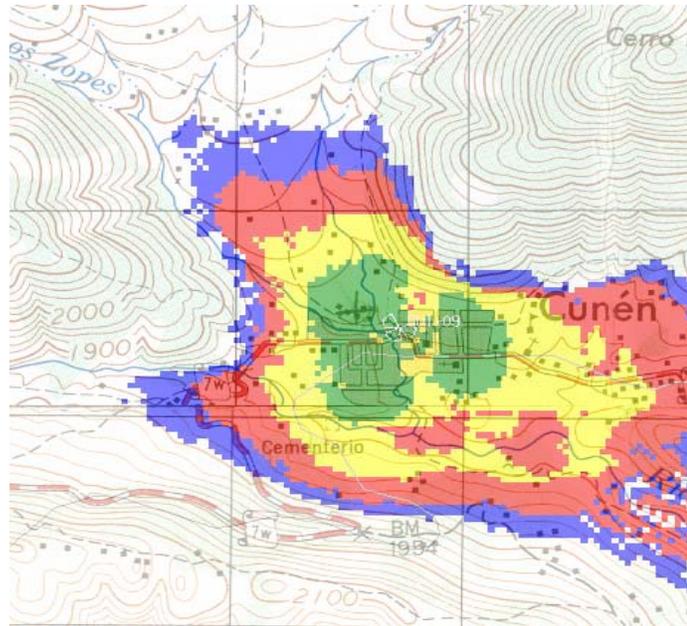
HOJA DE CONFIGURACIÓN DE SITIO			
NOMBRE	CHINIQUE		
LATITUD	15° 02' 28.2" N		
LONGITUD	91° 01' 39.9" W		
ALTURA SNM (m)	1926		
TIPO TORRE	AUTO SOPORTADA		
ALTURA (m)	60		
MODELO RBS	2106		
No. CELDAS	3		
CONFIGURACIÓN DE RF			
SECTOR	A	B	C
ORIENTACIÓN (°)	50	190	300
ALTURA (m)	40	40	40
INCLINACIÓN (°)	4	2	2
MODELO ANTENA	RV651802	RV651802	RV651802
PORTADORAS	1	1	2
POTENCIA (dBm)	45	45	45
CONFIGURACIÓN LÓGICA			
BCCH	635	645	655
BSIC	8	8	8
HSN	8	8	8
GRUPO HOPPING	1	2	3
MAIO	0, 2, 4	1,3,5	0, 2, 4

### 3.1.4.7 Cunén

La distribución urbana de este municipio requiere que el diseño del sitio se configure con tres sectores para dar la cobertura en interiores a pesar de que el tráfico esperado es de 10.61 erlangs para los que son necesarios 17 canales. La configuración mínima de una RBS con tres sectores es 1+1+2 y con ésta es más que suficiente para manejar dicho tráfico y cubrir el poblado.

Es importante mencionar que uno de los objetivos del proyecto es integrar a los poblados que han sido relegados a las telecomunicaciones, principalmente del departamento del Quiché. Como se aprecia del plot de cobertura, Cunén está inserto entre montañas y resulta difícil comunicar la celda con el resto de la actual red móvil celular.

**Figura 45. Mapa y Plot de Cobertura de Cunén**



Fuente: Mapa del Instituto Geográfico Nacional de Guatemala

**Tabla XXI. Hoja de configuración de sitio Cunén.**

HOJA DE CONFIGURACIÓN DE SITIO			
NOMBRE	CUNÉN		
LATITUD	15° 20' 14.6" N		
LONGITUD	91° 01' 47.8" W		
ALTURA SNM (m)	1822		
TIPO TORRE	AUTO SOPORTADA		
ALTURA (m)	76		
MODELO RBS	2106		
No. CELDAS	3		
CONFIGURACIÓN DE RF			
SECTOR	A	B	C
ORIENTACIÓN (°)	110	210	300
ALTURA (m)	40	40	40
INCLINACIÓN (°)	2	2	2
MODELO ANTENA	RV651802	RV651802	RV651802
PORTADORAS	1	1	2
POTENCIA (dBm)	45	45	45
CONFIGURACIÓN LOGICA			
BCCH	636	646	656
BSIC	9	9	9
HSN	9	9	9
GRUPO HOPPING	1	2	3

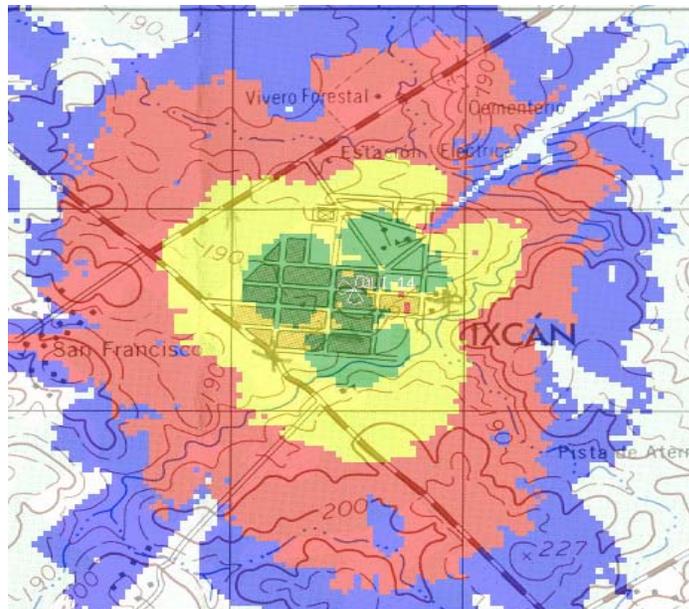
### 3.1.4.8 Ixcán

Este municipio es el más lejano del departamento de El Quiché y ha sido mayormente relegado de las comunicaciones, inclusive de las terrestres.

El tráfico esperado es de 33.14 erlangs, uno de los mayores del departamento y requiere al menos 43 canales de tráfico para soportarlo.

Particularmente, la topografía del área es predominantemente plana y por tal razón la propagación de la señal tiende a extenderse y aprovecha mucho mejor que otros municipios con topografía montañosa la distribución de los tres sectores con los que se ha definido esta estación base. La configuración definida es de 4+2+2 portadoras que manejarán la demanda de tráfico esperado. La figura 45 muestra el plot de cobertura y la tabla XXII la configuración del sitio.

**Figura 46. Mapa y Plot de Cobertura de Ixcán**



Fuente: Mapa del Instituto Geográfico Nacional de Guatemala

**Tabla XXII. Hoja de configuración de sitio Ixcán.**

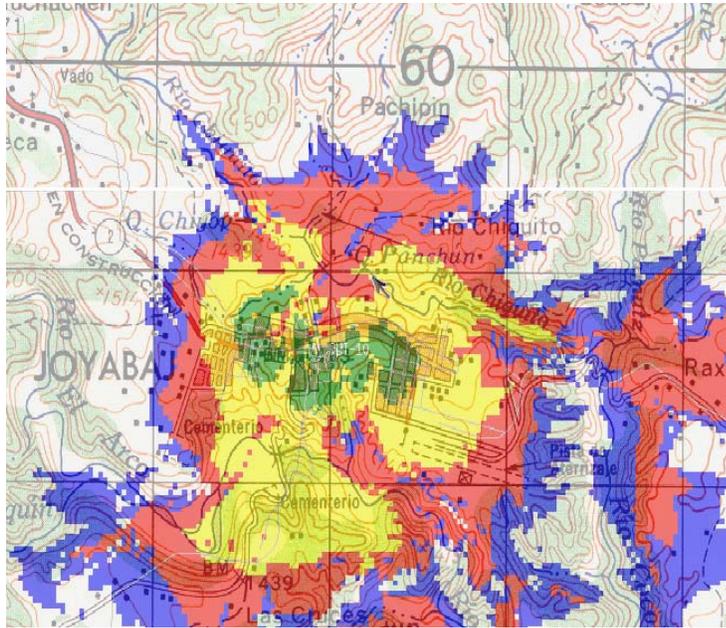
HOJA DE CONFIGURACIÓN DE SITIO			
NOMBRE	PLAYA GRANDE IXCAN		
LATITUD	15° 59' 0.1" N		
LONGITUD	90° 47' 2.6" W		
ALTURA SNM (m)	185		
TIPO TORRE	AUTO SOPORTADA		
ALTURA (m)	40		
MODELO RBS	2106		
No. CELDAS	3		
CONFIGURACIÓN DE RF			
SECTOR	A	B	C
ORIENTACIÓN (°)	40	180	280
ALTURA (m)	40	40	40
INCLINACIÓN (°)	4	2	2
MODELO ANTENA	RV651802	RV651802	RV651802
PORTADORAS	4	2	2
POTENCIA (dBm)	45	45	45
CONFIGURACIÓN LOGICA			
BCCH	637	647	657
BSIC	14	14	14
HSN	14	14	14
GRUPO HOPPING	1	2	3
MAIO	0, 2, 4	1,3,5	0, 2, 4

### 3.1.4.9 Joyabaj

Este municipio esta en la ruta que va de Santa Cruz del Quiche hacia la ciudad de Guatemala vía San Juan Sacatepequez de modo que incluirlo a la red de telefonía celular resulta de vital importancia para el departamento.

El tráfico esperado es de 17.61 Erlangs y para cursarlo se requiere de 26 canales. Según el diseño, tres celdas o sectores son necesarios para dar cobertura a la población distribuida con una configuración de 2+2+2 portadoras. La figura 46 muestra el plot de cobertura y la tabla XXIII muestra la hoja de configuración del sitio.

**Figura 47. Mapa y Plot de Cobertura de Joyabaj**



Fuente: Mapa del Instituto Geográfico Nacional de Guatemala

**Tabla XXIII. Hoja de configuración de sitio Joyabaj.**

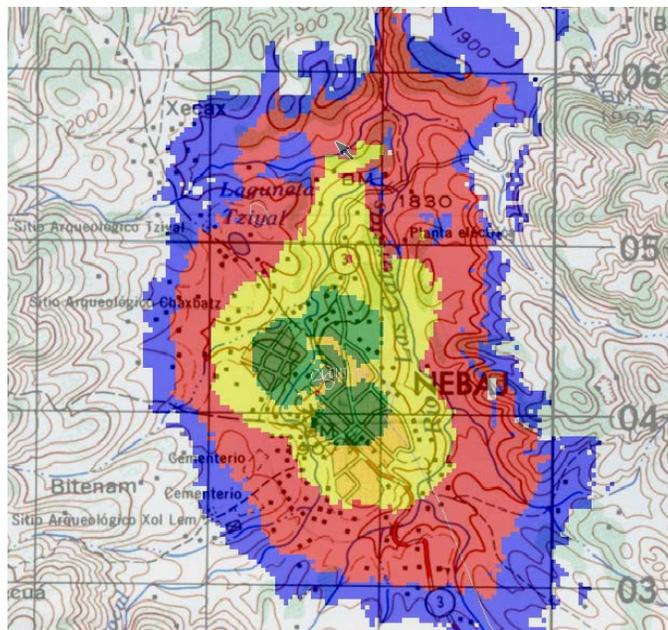
HOJA DE CONFIGURACIÓN DE SITIO			
NOMBRE	JOYABAJ		
LATITUD	14° 59' 36.2" N		
LONGITUD	90° 48' 25.5" W		
ALTURA SNM (m)	1430		
TIPO TORRE	AUTO SOPORTADA		
ALTURA (m)	40		
MODELO RBS	2106		
No. CELDAS	3		
CONFIGURACIÓN DE RF			
SECTOR	A	B	C
ORIENTACIÓN (°)	90	200	290
ALTURA (m)	40	40	40
INCLINACIÓN (°)	2	2	2
MODELO ANTENA	RV651802	RV651802	RV651802
PORTADORAS			
POTENCIA (dBm)	45	45	45
CONFIGURACIÓN LÓGICA			
BCCH	637	647	657
BSIC	10	10	10
HSN	10	10	10
GRUPO HOPPING	1	2	3
MAIO	0, 2, 4	1,3,5	0, 2, 4

### 3.1.4.10 Nebaj

Este municipio cursaría un tráfico esperado de 26.01 Erlangs y para ser cubierto se requieren según diseño, tres celdas para dar señal con calidad en interiores en todo el poblado.

Las portadoras requeridas para soportar el tráfico son 6, con una configuración de 2+2+2. La cobertura ha sido como en los municipios anteriores diseñados con la herramienta –Planet- de propagación.

**Figura 48. Mapa y Plot de Cobertura de Nebaj**



Fuente: Mapa del Instituto Geográfico Nacional de Guatemala

**Tabla XXIV. Hoja de configuración de sitio Nebaj.**

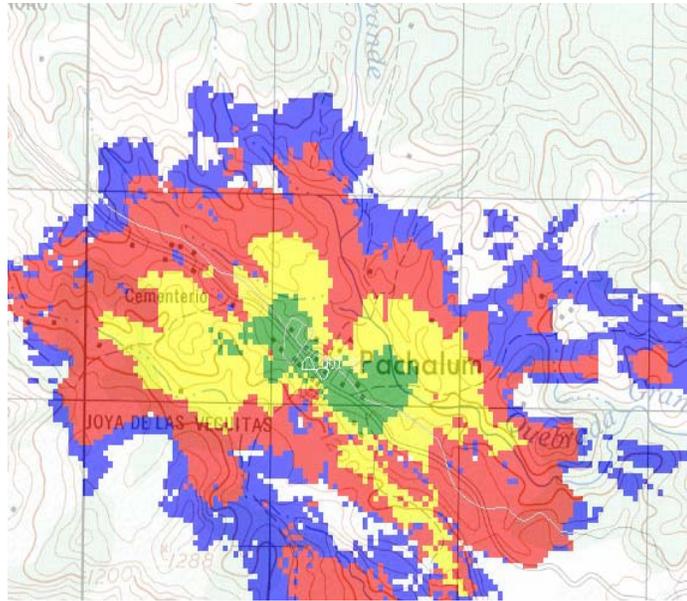
HOJA DE CONFIGURACIÓN DE SITIO			
NOMBRE	NEBAJ		
LATITUD	15° 24' 22.2" N		
LONGITUD	91° 08' 58" W		
ALTURA SNM (m)	1900		
TIPO TORRE	AUTO SOPORTADA		
ALTURA (m)	40		
MODELO RBS	2106		
No. CELDAS	3		
CONFIGURACIÓN DE RF			
SECTOR	A	B	C
ORIENTACIÓN (°)	20	140	290
ALTURA (m)	40	40	40
INCLINACIÓN (°)	2	2	4
MODELO ANTENA	RV651802	RV651802	RV651802
PORTADORAS	2	2	2
POTENCIA (dBm)	45	45	45
CONFIGURACIÓN LÓGICA			
BCCH	631	641	651
BSIC	24	24	24
HSN	24	24	24
GRUPO HOPPING	1	2	3
MAIO	0, 2, 4	1,3,5	0, 2, 4

### 3.1.4.11 Pachalum

Este municipio esta al inicio de la ruta entre Guatemala y Santa Cruz del Quiche por San Juan Sacatepequez, ruta alterna para comunicar este departamento vía terrestre y con éste proyecto, a través de la telecomunicaciones. Este municipio por ser de poca población y poca extensión urbana, según el diseño de radio frecuencia requiere dos sectores para cubrir el poblado con niveles de señal en interiores y se espera un tráfico de 2.77 Erlangs.

Es de hacer notar que por la poca capacidad requerida, con una configuración 1+1 es suficiente y no será necesario utilizar el salto de frecuencia y los subsecuentes como HSM y MAIO no son tampoco requeridos por lo que se omiten en la hoja de configuración de la tabla XXV.

**Figura 49. Mapa y Plot de Cobertura de Pachalum.**



Fuente: Mapa del Instituto Geográfico Nacional de Guatemala

**Tabla XXV. Hoja de configuración de sitio Pachalum.**

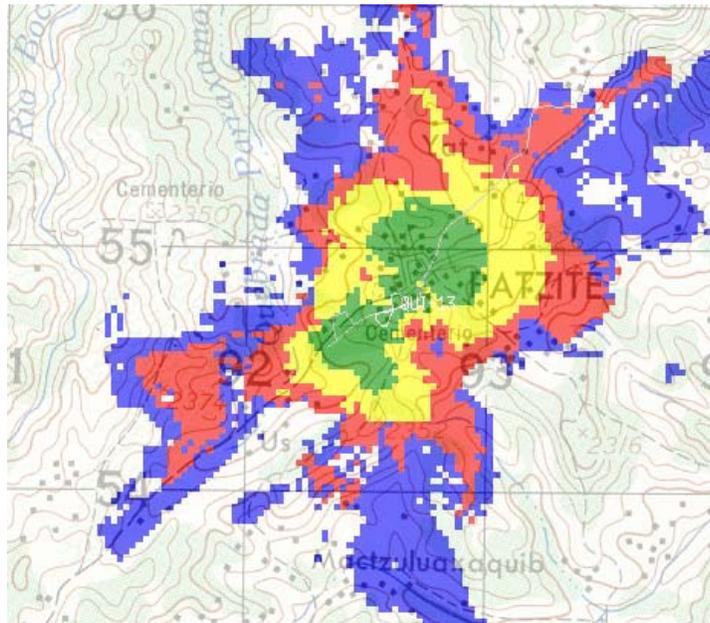
HOJA DE CONFIGURACIÓN DE SITIO			
NOMBRE	PACHALUM		
LATITUD	14° 55' 25.1" N		
LONGITUD	90° 39' 48.1" W		
ALTURA SNM (m)	1226		
TIPO TORRE	AUTO SOPORTADA		
ALTURA (m)	50		
MODELO RBS	2106		
No. CELDAS	2		
CONFIGURACIÓN DE RF			
SECTOR	A	B	C
ORIENTACIÓN (°)	110	300	N/A
ALTURA (m)	40	40	N/A
INCLINACIÓN (°)	2	2	N/A
MODELO ANTENA	RV651802	RV651802	N/A
PORTADORAS	1	1	N/A
POTENCIA (dBm)	45	45	N/A
CONFIGURACIÓN LOGICA			
BCCH	633	643	N/A
BSIC	12	12	N/A
HSN	N/A	N/A	N/A
GRUPO HOPPING	N/A	N/A	N/A
MAIO	N/A	N/A	N/A

### 3.1.4.12 Patzité

Este municipio al igual que el anterior debido al bajo tráfico esperado que para este caso es de 2.09 Erlangs, al diseñarlo, resulta necesario únicamente dos celdas o sectores para cubrir la población con niveles de señal en interiores y la demanda del mismo.

La configuración mínima requerida es 1+1 portadoras en la que no es necesario tampoco la utilización de las frecuencias de salto y por ende los parámetros de HSM y MAIO.

**Figura 50. Mapa y Plot de Cobertura de Patzité**



Fuente: Mapa del Instituto Geográfico Nacional de Guatemala

**Tabla XXVI. Hoja de configuración de sitio Patzité.**

HOJA DE CONFIGURACIÓN DE SITIO			
NOMBRE	PATZITE		
LATITUD	14° 57' 52.3" N		
LONGITUD	91° 12' 21.3" W		
ALTURA SNM (m)	2300		
TIPO TORRE	AUTO SOPORTADA		
ALTURA (m)	76		
MODELO RBS	2106		
No. CELDAS	2		
CONFIGURACIÓN DE RF			
SECTOR	A	B	C
ORIENTACIÓN (°)	30	230	N/A
ALTURA (m)	40	40	N/A
INCLINACIÓN (°)	4	4	N/A
MODELO ANTENA	RV651802	RV651802	N/A
PORTADORAS	1	1	N/A
POTENCIA (dBm)	45	45	N/A
CONFIGURACIÓN LOGICA			
BCCH	635	645	N/A
BSIC	13	13	N/A
HSN	N/A	N/A	N/A
GRUPO HOPPING	N/A	N/A	N/A
MAIO	N/A	N/A	N/A

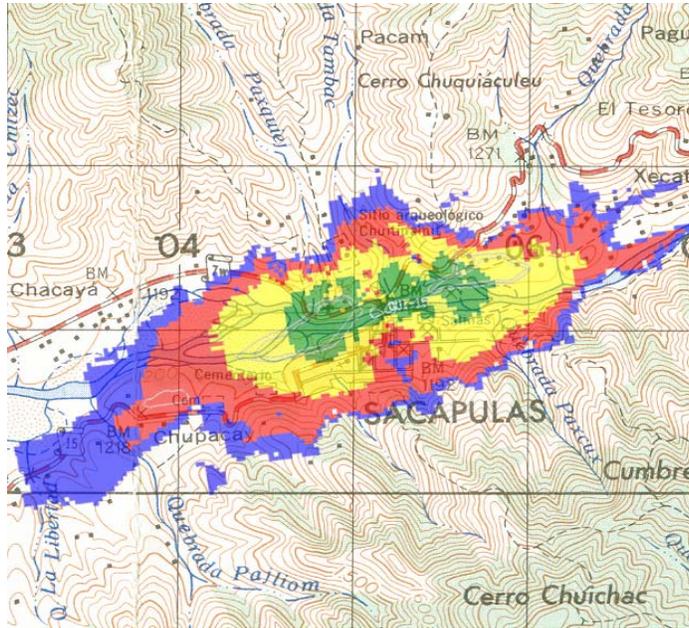
### 3.1.4.13 Sacapulas

Este municipio se encuentra sobre la carretera hacia Cunén, y el área urbana del mismo se distribuye a largo de ésta. Por lo que el diseño de radio frecuencia definido para cubrir el poblado se logra con dos sectores aprovechando la ubicación al centro de Sacapulas.

El tráfico esperado es de 14.85 Erlangs que requiere de 22 canales para cubrir la demanda con lo que se establece que la configuración será de 2+2 portadoras de 14 canales cada una.

La figura 50 muestra el plot de cobertura y la tabla XXVII la hoja de configuración del sitio.

**Figura 51. Mapa y Plot de Cobertura de Sacapulas**



Fuente: Mapa del Instituto Geográfico Nacional de Guatemala

**Tabla XXVII. Hoja de configuración de sitio Sacapulas.**

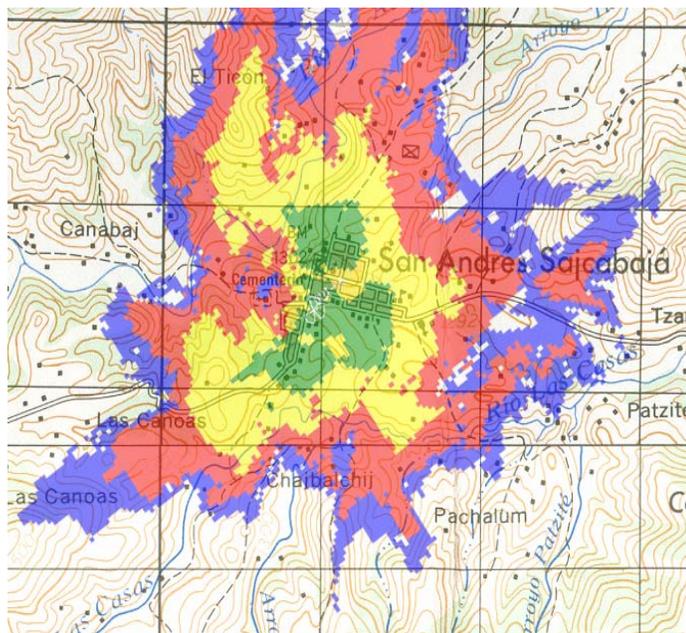
HOJA DE CONFIGURACIÓN DE SITIO			
NOMBRE	SACAPULAS		
LATITUD	15° 17' 21.8" N		
LONGITUD	91° 05' 32.3" W		
ALTURA SNM (m)	1190		
TIPO TORRE	AUTO SOPORTADA		
ALTURA (m)	40		
MODELO RBS	2106		
No. CELDAS	2		
CONFIGURACIÓN DE RF			
SECTOR	A	B	C
ORIENTACIÓN (°)	70	270	N/A
ALTURA (m)	40	40	N/A
INCLINACIÓN (°)	4	4	N/A
MODELO ANTENA	RV651802	RV651802	N/A
PORTADORAS	2	2	N/A
POTENCIA (dBm)	45	45	N/A
CONFIGURACIÓN LÓGICA			
BCCH	629	639	N/A
BSIC	15	15	N/A
HSN	15	15	N/A
GRUPO HOPPING	1	2	N/A
MAIO	0, 2, 4	1,3,5	N/A

### 3.1.14 San Andrés Sajcabajá

Para éste municipio se ha calculado un tráfico esperado de 7.29 Erlangs, los que por consideraciones de diseño deberán ser distribuidos en tres sectores con la finalidad de garantizar una cobertura en interiores en todo el poblado.

El diseño en la configuración se define como 1+1+2 portadoras por sector respectivamente. El equipamiento de radio se compartirá en dos celdas dado que no es elevado el tráfico esperado y por tanto con una radio base, RBS es suficiente para cubrir y soportar la demanda.

**Figura 52. Mapa y Plot de Cobertura de San Andrés Sajcabaja.**



Fuente: Mapa del Instituto Geográfico Nacional de Guatemala

**Tabla XXVIII. Hoja de configuración de sitio San Andrés Sajcabajá.**

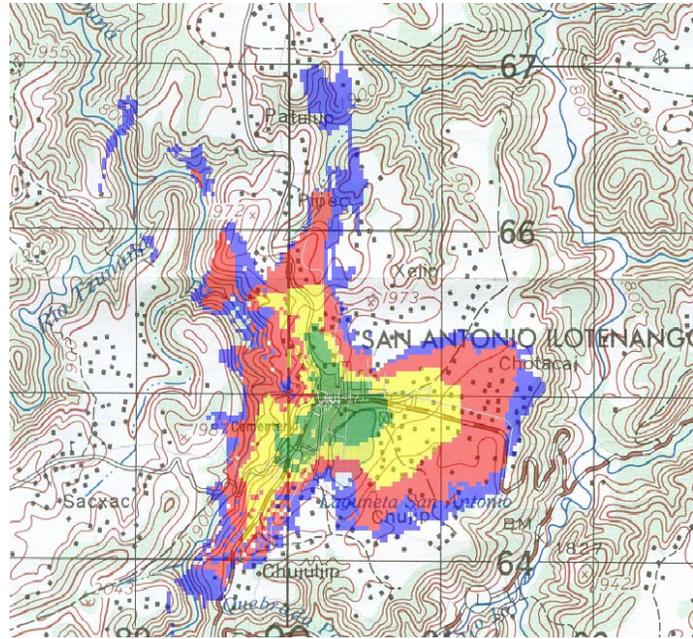
HOJA DE CONFIGURACIÓN DE SITIO			
NOMBRE	SAN ANDRES SAJCABAJA		
LATITUD	15° 10' 32.7" N		
LONGITUD	90° 56' 35" W		
ALTURA SNM (m)	1300		
TIPO TORRE	AUTO SOPORTADA		
ALTURA (m)	60		
MODELO RBS	2106		
No. CELDAS	3		
CONFIGURACIÓN DE RF			
SECTOR	A	B	C
ORIENTACIÓN (°)	40	140	240
ALTURA (m)	40	40	40
INCLINACIÓN (°)	4	4	6
MODELO ANTENA	RV651802	RV651802	RV651802
PORTADORAS			
POTENCIA (dBm)	45	45	45
CONFIGURACIÓN LÓGICA			
BCCH	628	638	648
BSIC	16	16	16
HSN	1	1	2
GRUPO HOPPING	1	2	3
MAIO	0, 2, 4	1,3,5	0, 2, 4

### 3.1.4.15 San Antonio Ilotenango

El diseño de radio frecuencia realizado con apoyo de la herramienta de propagación pretende dar cobertura en interiores al casco urbano del municipio el que se distribuye alrededor de la laguna de San Antonio y a la vez se aprovecha para cubrir los accesos carreteros al poblado.

Del diseño se define que con una radio base con tres celdas y una configuración de 1+1+2 portadoras para soportar los 9.28 Erlangs de tráfico esperado es suficiente para cumplir con los requerimientos del proyecto.

**Figura 53. Mapa y Plot de Cobertura de San Antonio Ilotenango.**



Fuente: Mapa del Instituto Geográfico Nacional de Guatemala

**Tabla XXIX. Hoja de configuración de sitio San Antonio Ilotenango.**

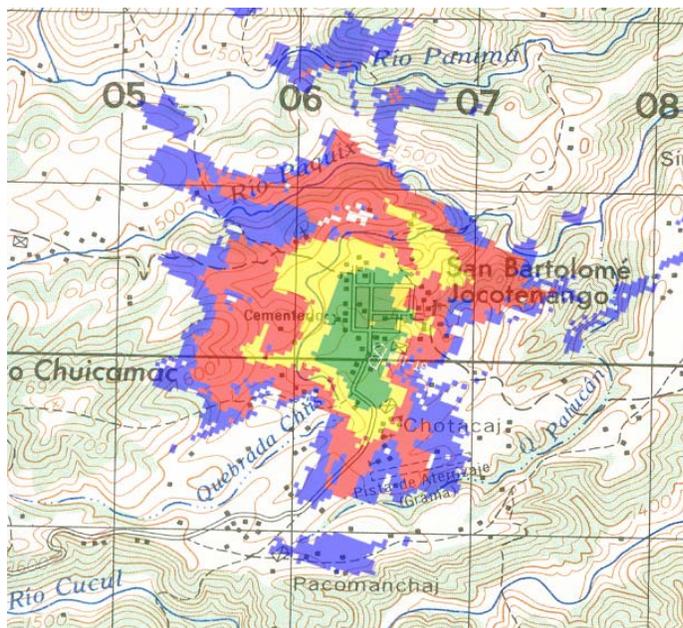
HOJA DE CONFIGURACIÓN DE SITIO			
NOMBRE	SAN ANTONIO ILOTENANGO		
LATITUD	15° 03' 15.8" N		
LONGITUD	91° 13' 57" W		
ALTURA SNM (m)	1900		
TIPO TORRE	AUTO SOPORTADA		
ALTURA (m)	50		
MODELO RBS	2106		
No. CELDAS	3		
CONFIGURACIÓN DE RF			
SECTOR	A	B	C
ORIENTACIÓN (°)	20	100	200
ALTURA (m)	40	40	40
INCLINACIÓN (°)	2	0	2
MODELO ANTENA	RV651802	RV651802	RV651802
PORTADORAS	1	1	2
POTENCIA (dBm)	45	45	45
CONFIGURACIÓN LOGICA			
BCCH	630	640	650
BSIC	17	17	17
HSN	1	1	2
GRUPO HOPPING	1	2	3
MAIO	0, 2, 4	1,3,5	0, 2, 4

### 3.1.4.16 San Bartolomé Jocotenango

Este poblado con poca estructura urbana requiere según el diseño solo dos sectores para cubrir con niveles de cobertura en interiores. Los cálculos estimados de tráfico esperado indican que 2.54 Erlangs serán cursados en dicho poblado y por tanto con la configuración mínima de 1+1 portadoras es suficiente por ahora para manejar dicha demanda.

Al igual que los sitios anteriores con ésta configuración mínima, no es necesario definir frecuencias de salto debido al poco tráfico esperado dado que será manejado por la portadora BCCH y sus respectivos canales y por tanto la hoja de configuración no muestra valores en los campos de HSN, Grupo Hopping y MAIO respectivamente.

**Figura 54. Mapa y Plot de Cobertura de San Bartolomé Jocotenango.**



Fuente: Mapa del Instituto Geográfico Nacional de Guatemala

**Tabla XXX. Hoja de configuración de sitio San Bartolomé Jocotenango.**

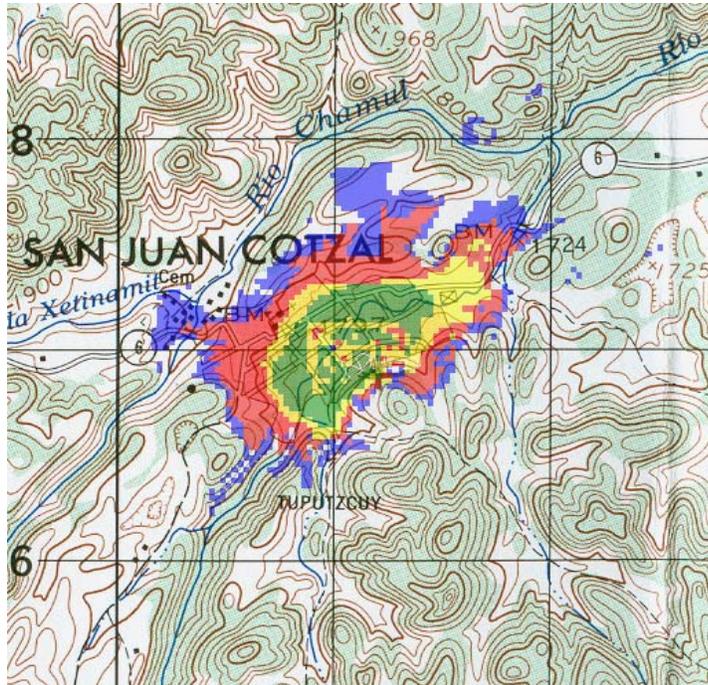
HOJA DE CONFIGURACIÓN DE SITIO			
NOMBRE	SAN BARTOLOME JOCOTENANGO		
LATITUD	15° 11' 29.3" N		
LONGITUD	91° 04' 30.4" W		
ALTURA SNM (m)	1500		
TIPO TORRE	AUTO SOPORTADA		
ALTURA (m)	40		
MODELO RBS	2106		
No. CELDAS	2		
CONFIGURACIÓN DE RF			
SECTOR	A	B	C
ORIENTACIÓN (°)	220	230	N/A
ALTURA (m)	40	40	N/A
INCLINACIÓN (°)	2	2	N/A
MODELO ANTENA	RV651802	RV651802	N/A
PORTADORAS	1	1	N/A
POTENCIA (dBm)	45	45	N/A
CONFIGURACIÓN LOGICA			
BCCH	632	642	652
BSIC	18	18	N/A
HSN	N/A	N/A	N/A
GRUPO HOPPING	N/A	N/A	N/A
MAIO	N/A	N/A	N/A

### 3.1.4.17 San Juan Cotzal

Este municipio esta ubicado entre montañas con poca área urbana. Se ha calculado que el tráfico esperado sea de 8.30 Erlangs y requiere 15 canales para manejar la demanda, pero para cumplir con la calidad de señal en interiores en todo el poblado se requiere de 2 celdas o sectores para garantizar dicha cobertura.

El diseño final se ha definido con una configuración 2+2 portadoras respectivamente. De acuerdo a la herramienta de predicción y cálculo de capacidad, con una radio base es suficiente para cubrir el área, haciendo notar que por las limitaciones topográficas la cobertura se restringe al poblado.

**Figura 55. Mapa y Plot de Cobertura de San Juan Costal.**



Fuente: Mapa del Instituto Geográfico Nacional de Guatemala

**Tabla XXXI. Hoja de configuración de sitio San Juan Cotzal.**

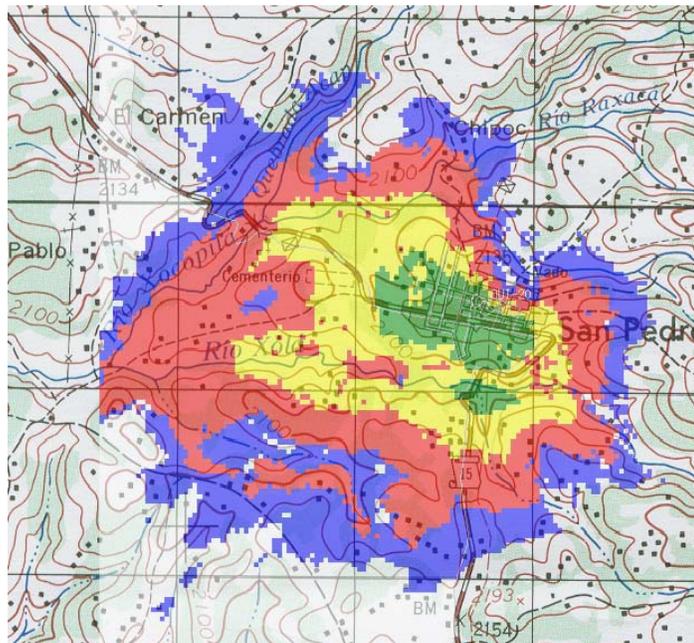
HOJA DE CONFIGURACIÓN DE SITIO			
NOMBRE	SAN JUAN COTZAL		
LATITUD	15° 25' 53" N		
LONGITUD	91° 01' 54.6" W		
ALTURA SNM (m)	1820		
TIPO TORRE	AUTO SOPORTADA		
ALTURA (m)	40		
MODELO RBS	2106		
No. CELDAS	2		
CONFIGURACIÓN DE RF			
SECTOR	A	B	C
ORIENTACIÓN (°)	0	260	N/A
ALTURA (m)	40	40	N/A
INCLINACIÓN (°)	8	8	N/A
MODELO ANTENA	RV651804	RV651804	N/A
PORTADORAS	2	2	N/A
POTENCIA (dBm)	45	45	N/A
CONFIGURACIÓN LOGICA			
BCCH	634	644	654
BSIC	19	19	N/A
HSN	19	19	N/A
GRUPO HOPPING	1	2	N/A
MAIO	0, 2, 4	1,3,5	N/A

### 3.1.4.18 San Pedro Jocopilas

La estación base para este municipio se ha diseñado con dos sectores para dar cobertura en interiores en el mismo, así mismo se cubre parcialmente los accesos y caseríos cercanos. Según los cálculos, el tráfico estimado es de 7.91 Erlangs que corresponde a 14 canales. A pesar de ser suficiente, se ha considerado definir una configuración de 2+2 portadoras respectivamente por sector para garantizar la calidad de servicio sin bloqueo alguno.

Es de hacer notar que debido que no hay limitante topográfica cercano, la predicción indica que puede cubrirse aproximadamente, hasta 2Km. desde la celda en dirección a los accesos viales al poblado, extendiendo así la cobertura a los caseríos aledaños.

**Figura 56. Mapa y Plot de Cobertura de San Pedro Jocopilas.**



Fuente: Mapa del Instituto Geográfico Nacional de Guatemala

**Tabla XXXII. Hoja de configuración de sitio San Pedro Jocopilas.**

HOJA DE CONFIGURACIÓN DE SITIO			
NOMBRE	SAN PEDRO JOCOPILAS		
LATITUD	15° 05' 43.8" N		
LONGITUD	90 09' 2.2" W		
ALTURA SNM (m)	2130		
TIPO TORRE	AUTO SOPORTADA		
ALTURA (m)	40		
MODELO RBS	2106		
No. CELDAS	2		
CONFIGURACIÓN DE RF			
SECTOR	A	B	C
ORIENTACIÓN (°)	170	270	N/A
ALTURA (m)	40	40	N/A
INCLINACIÓN (°)	4	4	N/A
MODELO ANTENA	RV651802	RV651802	N/A
PORTADORAS	2	2	N/A
POTENCIA (dBm)	45	45	N/A
CONFIGURACIÓN LÓGICA			
BCCH	637	647	N/A
BSIC	20	20	N/A
HSN	20	20	N/A
GRUPO HOPPING	1	2	N/A
MAIO	0, 2, 4	1,3,5	N/A

### 3.1.4.19 Santa Cruz del Quiché

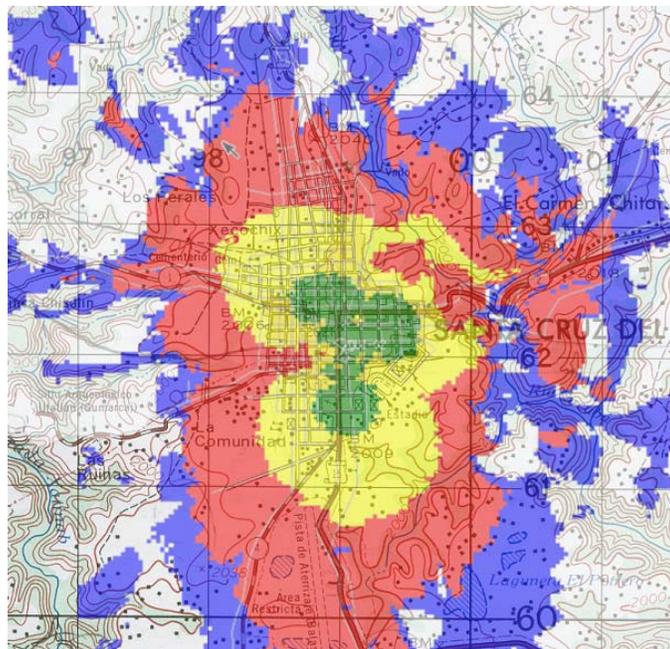
Este municipio a pesar de ser la cabecera departamental presenta un tráfico esperado de 19.43 Erlangs que es aproximadamente la mitad del municipio con mayor tráfico (Chichicastenago) esto debido principalmente a la menor cantidad de población y diferente actividad económica.

El área urbana es de aproximadamente 4Km. cuadrados y se ubica en una región relativamente plana con lo que la propagación de la señal presentada, hecha con la herramienta de propagación –Planet- se extiende de tal forma que cubre los alrededores con calidad para exteriores y con calidad para interiores en la población principal que es el objetivo del proyecto.

Bajo estas consideraciones el diseño final indica que con una radio base – RBS- es suficiente para soportar la demanda de tráfico y a la vez brindar la cobertura con tres celdas o sectores equipados con 2 portadoras respectivamente, de modo que la configuración final es 2+2+2.

Es de hacer notar que como parte del diseño se ha ubicado el sitio en el centro del poblado para cumplir con las exigencias de cobertura y con el objetivo de distribuir la demanda entre las portadoras indicadas.

**Figura 57. Mapa y Plot de Cobertura de Santa Cruz del Quiché.**



Fuente: Mapa del Instituto Geográfico Nacional de Guatemala

**Tabla XXXIII. Hoja de configuración de sitio Santa Cruz del Quiché.**

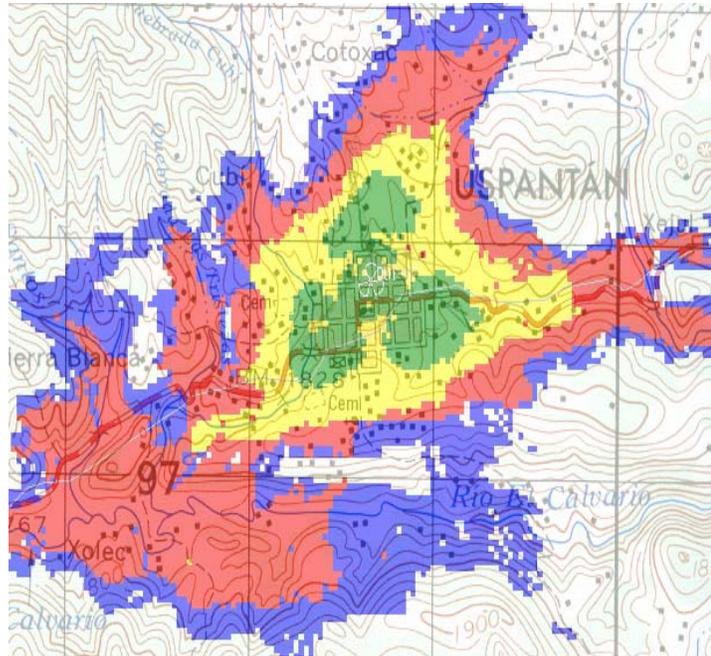
HOJA DE CONFIGURACIÓN DE SITIO			
NOMBRE	SANTA CRUZ DEL QUICHE		
LATITUD	15° 01' 39.2" N		
LONGITUD	90° 08' 55.4" W		
ALTURA SNM (m)	2020		
TIPO TORRE	AUTO SOPORTADA		
ALTURA (m)	50		
MODELO RBS	2106		
No. CELDAS	3		
CONFIGURACIÓN DE RF			
SECTOR	A	B	C
ORIENTACIÓN (°)	60	180	340
ALTURA (m)	40	40	40
INCLINACIÓN (°)	2	2	2
MODELO ANTENA	RV651802	RV651802	RV651802
PORTADORAS	2	2	2
POTENCIA (dBm)	45	45	45
CONFIGURACIÓN LÓGICA			
BCCH	629	639	649
BSIC	2	2	2
HSN	2	2	2
GRUPO HOPPING	1	2	3
MAIO	0, 2, 4	1,3,5	0, 2, 4

### 3.1.4.20 Uspatán

Se ubica sobre el tramo de carretera entre Cunén y Chicamán, por lo que el diseño ha considerado dos sectores para cubrir dichas accesos y a la vez cumple con brindar cobertura en interiores, complementado ésta con un tercer sector destinado para el centro de la población.

El tráfico esperado para la población es de 14.81 Erlangs, que basados en el diseño de radio frecuencia, debe distribuir dicho tráfico en una configuración de 2 portadoras por sector respectivamente para manejar la demanda. Por ende una radio base es suficiente para cumplir con ambos requerimientos, cobertura y capacidad.

**Figura 58. Mapa y Plot de Cobertura de Uspantán.**



Fuente: Mapa del Instituto Geográfico Nacional de Guatemala

**Tabla XXXIV. Hoja de configuración de sitio Uspantán.**

HOJA DE CONFIGURACIÓN DE SITIO			
NOMBRE	USPANTÁN		
LATITUD	15° 20' 52.5" N		
LONGITUD	90° 52' 12.1" W		
ALTURA SNM (m)	1842		
TIPO TORRE	AUTO SOPORTADA		
ALTURA (m)	40		
MODELO RBS	2106		
No. CELDAS	3		
CONFIGURACIÓN DE RF			
SECTOR	A	B	C
ORIENTACIÓN (°)	0	120	230
ALTURA (m)	40	40	40
INCLINACIÓN (°)	2	4	2
MODELO ANTENA	RV651802	RV651802	RV651802
PORTADORAS	2	2	2
POTENCIA (dBm)	45	45	45
CONFIGURACIÓN LOGICA			
BCCH	634	644	654
BSIC	23	23	23
HSN	23	23	23
GRUPO HOPPING	1	2	3
MAIO	0, 2, 4	1,3,5	0, 2, 4



**Tabla XXXV. Hoja de configuración de sitio Zacualpa**

HOJA DE CONFIGURACIÓN DE SITIO			
NOMBRE	ZACUALPA		
LATITUD	15° 01' 43.1" N		
LONGITUD	90° 52' 41.5" W		
ALTURA SNM (m)	1498		
TIPO TORRE	AUTO SOPORTADA		
ALTURA (m)	40		
MODELO RBS	2106		
No. CELDAS	3		
CONFIGURACIÓN DE RF			
SECTOR	A	B	C
ORIENTACIÓN (°)	10	120	220
ALTURA (m)	40	40	40
INCLINACIÓN (°)	4	4	4
MODELO ANTENA	RV651802	RV651802	RV651802
PORTADORAS	1	1	2
POTENCIA (dBm)	45	45	45
CONFIGURACIÓN LOGICA			
BCCH	636	646	656
BSIC	21	21	21
HSN	21	21	21
GRUPO HOPPING	1	2	3
MAIO	0, 2, 4	1,3,5	0, 2, 4

Es de hacer notar que se ha estandarizado el uso de la radio base RBS 2106 no solo por lo argumentado al inicio del capítulo sino por la facilidad de crecimiento de capacidad de canales, previendo que en el futuro podría requerir dicha ampliación a causa de la creciente demanda de servicios en cada población.

A pesar que algunos poblados, inicialmente, se prevé bajo tráfico y con una RBS de menor capacidad se cubriría, tal como la RBS 2207 y/o 2107 descrita en el Capítulo 2, a largo plazo la inversión y diferencia de costos entre un equipo y otro no es significativa, por lo que se justifica la radio base utilizada para todas las estaciones base.

La tabla XXXVI muestra el resumen de la configuración final de portadoras por sector habiendo definido una radio base por sitio. Los sectores se diferencian por las literales A, B, C respectivamente.

**Tabla XXXVI. Configuración de portadoras.**

No.	Municipio	Portadoras por sector A,B,C
1	Canillá	1+1+2
2	Chajul	2+4
3	Chicamán	2+2
4	Chiché	1+1+2
5	Chichicastenango	4+2+2
6	Chinique	1+1+2
7	Cunén	1+1+2
8	Ixcán	4+2+2
9	Joyabaj	2+2+2
10	Nebaj	2+2+2
11	Pachalum	1+1+2
12	Patzité	1+1
13	Sacapulas	2+2
14	San Andrés Sajcabajá	1+1+2
15	San Antonio Ilotenango	1+1+2
16	San Bartolomé Jocotenango	1+1
17	San Juan Cotzal	2+2
18	San Pedro Jocopilas	2+2
19	Santa Cruz Del Quiché	2+2+2
20	Uspantán	2+2+2
21	Zacualpa	1+1+2

Al realizar el recuento de las portadoras en la tabla XXXVI resulta que se han considerado 98 portadoras de radio, comparando la cantidad teórica calculada en función del tráfico esperado presentada en la tabla XII, se hace notar que la capacidad de radio para El Quiché garantiza que no habrá congestión telefonica.

La tabla XXXVII muestra el resumen de los equipos a utilizar en los sitios que darán cobertura en el departamento de El Quiché.

**Tabla XXXVII. Resumen de equipos.**

Equipo	Cantidad
RBS 2106	21
RBS 2107	0
Portadoras	98

### **3.2 Cálculo de los radio enlaces de transmisión**

La red de transporte es de suma importancia para el funcionamiento de la red celular, ya que a través de ella se enlazan las estaciones base con el centro de control, BSC, y estas a su vez con la MSC que permite establecer la conmutación para el procesamiento de llamadas.

La red de transporte tal como se ha mencionado en el capítulo 2 está compuesta por varios tipos de enlaces según las circunstancias y condiciones de cada lugar. Para integrar el departamento de El Quiché a la red existente, se utilizarán enlaces de radio debido a la versatilidad de este sistema cuando se trata de salvar grandes distancias en medios de difícil condición topográfica, tal como ocurre en la mayoría de municipios de El Quiché, por lo que el uso de otro medio de transmisión eleva considerablemente los costos del proyecto.

Para diseñar los radio enlaces que conectaran a las estaciones base con la red existente de la empresa, se consideran aspectos teóricos tratados en el Capítulo 2 y aspectos prácticos relacionados con la selección y definición de cada estación de repetición y sus respectivos componentes a través de cálculos realizados con el apoyo de software especializado.

#### **3.2.1 Selección de las estaciones de repetición**

La topografía del departamento de El Quiché es muy irregular, lo que hace necesario definir y agregar varias estaciones repetidoras para interconectar a las estaciones base entre sí, conformando una nueva red que será integrada a la red de transmisión de Telefonica a través de varios nodos existentes en el borde del departamento.

Para determinar un punto adecuado de repetición es importante realizar una localización geográfica y ubicación topográfica que cumpla con la condición de tener línea vista con al menos una estación base.

Actualmente, esto se realiza con el apoyo de herramientas dedicadas que contienen mapas digitales y su respectiva altimetría tal como el software – Planet- que fue utilizado para realizar predicciones de propagación de señal en el diseño de las estaciones base, sin embargo esta herramienta cuenta también con un modulo para realizar perfiles topográficos entre dos puntos determinados por sus respectivas coordenadas, alturas sobre el nivel del mar y altura propia sobre el sitio.

La herramienta -Planet- resulta confiable debido a que cuenta con una base de datos topográficos con una resolución de 30 metros que la hace ser una herramienta de precisión.

Para desarrollar la red de transmisión de El Quiché, se toma en cuenta 3 estaciones repetidoras existentes dentro de la red de transporte de Telefonica. Estas fueron estratégicamente ubicadas sobre los cerros de Chicut en Alta Verapaz, cerro Tecpán en Chimaltenango y cerro Tzujil en El Quiché, para servir de nodos de transmisión y enlazar estaciones bases de otros departamentos. La tabla XXXVIII muestra los sitios con sus respectivas características.

**Tabla XXXVIII. Repetidores de Transmisión existentes.**

Repetidoras existentes red transmisión Telefónica					
No.	ID Sitio	Nombre Sitio	Longitud N	Latitud W	Altura SNM (m)
4	<b>GT0099</b>	Cerro Chicut	90° 31' 26.4"	15° 23' 27.24"	2,000
5	<b>CHM705</b>	Cerro Tecpán	91° 01' 22.8"	14° 46' 54.84"	3,065
6	<b>FASE1-6RRP</b>	Cerro Tzujil	91° 10' 3.72"	15° 12' 1.8"	2,480

Entre las estaciones de repetición existentes y realizando perfiles topográficos con -Planet-, se determinó que algunas estaciones base podían conectarse a los mismos, principalmente aquellos que están al sur del departamento, no así los sitios localizados en la región central cuyos rasgos montañosos dificultan el enlace hacia estos repetidores. Por otra parte los sitios localizados al norte aumentan la dificultad de enlace debido a la distancia que hay que salvar para lograr la conectividad con la red principal.

Con estos inconvenientes es necesario crear nuevos sitios de repetición no existentes que pasarán a formar parte de la red de transmisión desplegada en el país.

Las nuevas estaciones repetidoras corresponden a sitios ubicados en cerros que superan los 2,000 msnm y que se utilizarán dentro de la red del departamento de El Quiché para interconectar a la mayoría de municipios del departamento. La tabla XL muestra las características de las 3 estaciones de repetición definidas.

**Tabla XXXIX. Repetidoras nuevas de transmisión.**

Repetidoras nueva red El Quiché					
No.	ID Sitio	Nombre Sitio	Longitud N	Latitud W	Altura SNM (m)
1	QUI-TX1	Repetidora1	91° 03' 8.28"	15° 22' 26.04"	2,860
2	QUI-TX2	Repetidora2	91° 05' 46.68"	15° 22' 32.16"	2,867
3	QUI-TX3	Repetidora3	90° 5' 25.44"	15° 18' 50.04"	2,300

Es importante señalar que algunas estaciones base también se utilizan como puntos de repetición aprovechando su localización geográfica y ubicación topográfica.

Cada perfil de enlace se realizó ingresando a -Planet- las coordenadas de cada sitio y variando la altura de las antenas entre cada par de puntos hasta definir un valor de cero metros de obstrucción entre ambos puntos.

El resultado obtenido es un perfil que muestra gráficamente los rasgos topográficos, la ubicación de las antenas con su respectiva altura y la línea vista sin obstrucción con su respectiva zona de Fresnel.

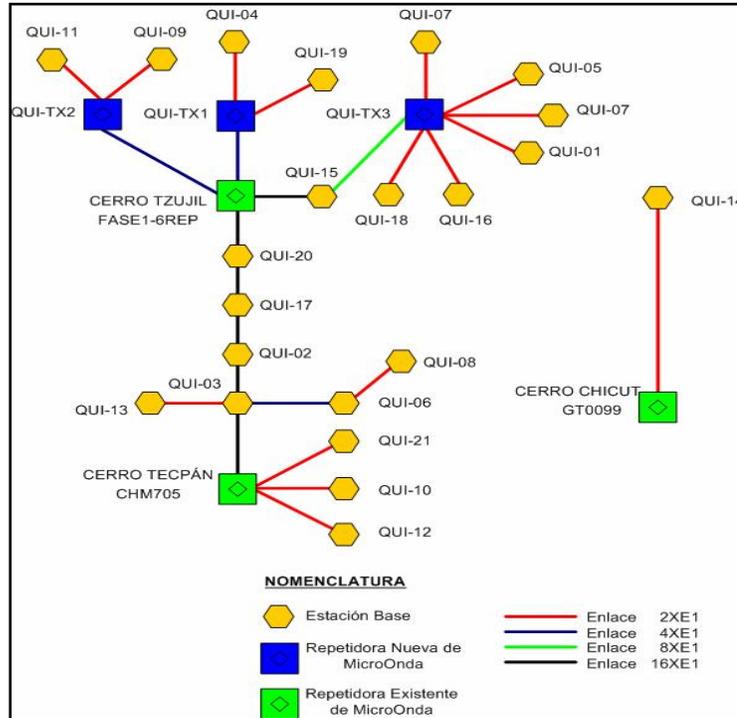
La figura 59 muestra el perfil entre Santa Cruz del Quiché (QUI-02) y Chichicastenango (QUI-03), en el que a 20 metros en ambos sitios se establece la línea de vista y el enlace queda libre en el trayecto de 10.17 Km.

**Figura 60. Perfil del enlace Santa Cruz del Quiché - Chichicastenango**



Este perfil es un ejemplo, sin embargo, éste procedimiento fue aplicado a cada enlace y con todos ellos se ha generado el diagrama de la red del departamento de El Quiché. La figura 60 muestra la topología de la nueva red transmisión.

**Figura 61. Topología de la red transmisión.**



Normalmente, es el departamento de ingeniería de transmisión de Telefónica el encargado de la verificación en campo de cada enlace para confirmar la línea de vista y hacer el diseño final de cada uno.

### 3.2.2 Cálculos de los vanos de transmisión

Para el cálculo de los enlaces de microonda, su dimensionamiento y planificación, se utilizan herramientas que permiten evaluar las diferentes variables como medio de apoyo al diseño. La herramienta consiste en programas de cómputo basado en modelos de propagación en función de pérdidas en diferentes puntos del trayecto así como en los diferentes elementos del sistema.

En este proyecto se ha hecho uso del programa Path Calc de la compañía Digital Microwave.

Inicialmente el programa requiere las coordenadas y/o distancia entre sitios, altura sobre el nivel del mar y condiciones ambientales, para este caso los valores promedio del departamento de El Quiché. La figura 61 muestra los valores antes indicados.

**Figura 62. Ingreso de datos del sitio y ambiente.**

The screenshot shows the PathCalc software window titled "PathCalc - QUI02 QUI03.pth". The interface includes a menu bar (File, Path, Help) and a toolbar with icons for file operations and simulation. The main window is divided into tabs: "Path and Sites", "Radio", "Antenna", "Losses and Gains", and "Performance". The "Path and Sites" tab is active, displaying the following input fields:

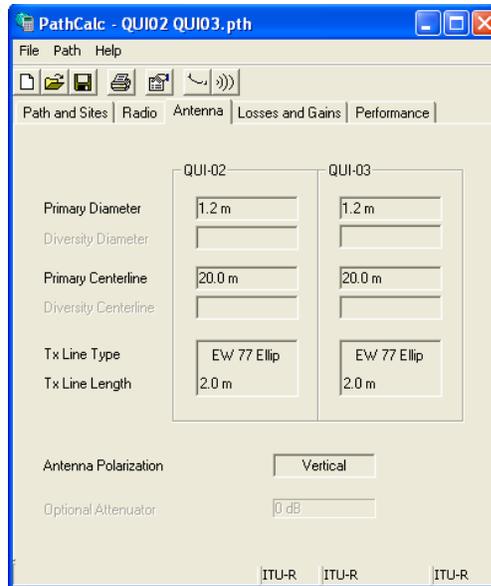
- Path Name: QUI-02->QUI-03
- Site Data Table:

	QUI-02	QUI-03
Longitude	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Latitude	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Elevation	2020 m	2061 m
Azimuth	<input type="text"/>	<input type="text"/>
- Path Length: 10.17 km
- Roughness: 43 m
- Gradient: 25 %
- Rainfall Area: P (ITU)
- Climate: Average
- Temperature: 23° C

At the bottom of the window, there are three "ITU-R" labels.

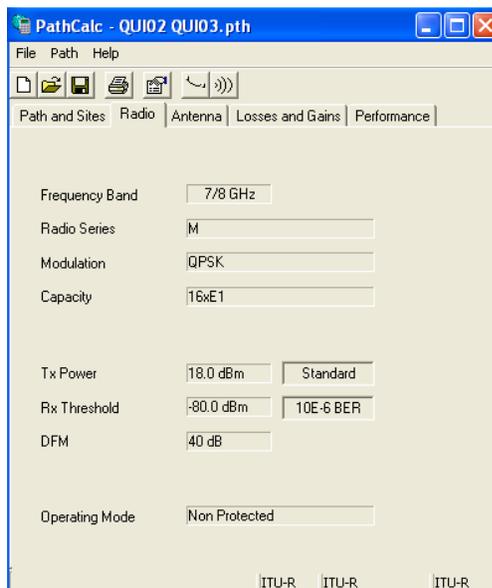
El programa también requiere datos relacionados de antenas, cables y/o guías de onda con su respectiva longitud de conexión hacia el equipamiento electrónico, así como la altura a la que se instalará las mismas. La figura 62 muestra la pantalla de los datos mencionados.

**Figura 63. Ingreso de datos de antenas y cables.**



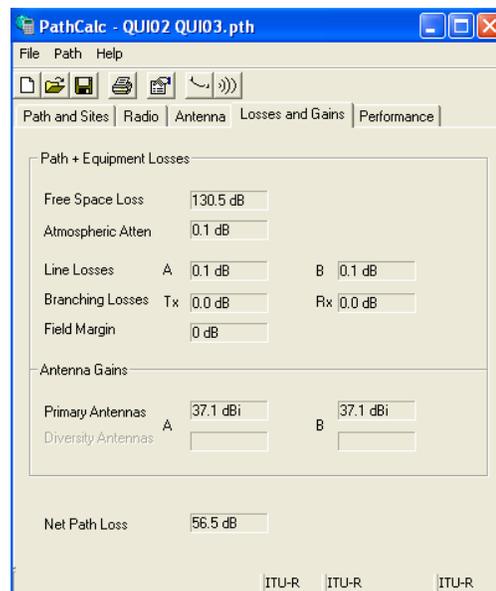
Adicionalmente, el programa requiere datos específicos del equipo de radio que se va a utilizar, principalmente, la potencia de transmisión, el umbral de nivel de recepción, tipo de modulación, frecuencia de operación y la capacidad de circuitos. En la figura 63 se muestran los datos del equipo de radio.

**Figura 64. Datos de equipamiento de radio.**



Con los datos anteriormente ingresados, se tienen los primeros resultados que consisten básicamente en evaluar las pérdidas y ganancias del enlace. La información presentada por la herramienta muestra las pérdidas de espacio libre, las que son determinantes al realizar el diseño. La figura 64 muestra los resultados de las pérdidas calculadas en cada punto del sistema.

**Figura 65. Resultado de pérdidas de espacio libre.**



Finalmente, para hacer confiable el diseño, el programa evalúa el desempeño del radio enlace dando como resultado índices de disponibilidad de servicio en función de las condiciones ambientales predominantes inicialmente ingresadas, así como de las características propias del equipo de radio y de los parámetros de los elementos que componen el sistema.

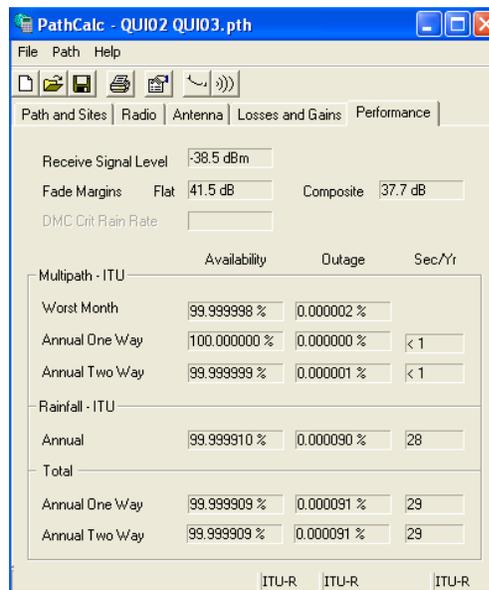
Con estos datos el programa estima el grado de confiabilidad del enlace en un período de tiempo que generalmente es un año. Es importante indicar

que los fabricantes de equipos de microondas dan valores recomendados de confiabilidad y deben estar por encima del 99.9998% para este periodo.

Para el presente proyecto todos los enlaces calculados han cumplido con este valor de diseño y se garantiza la confiabilidad de cada uno de ellos.

La figura 65 muestra la pantalla con los resultados de disponibilidad del radio enlace que se ha tomado como ejemplo de todos los realizados.

**Figura 66. Resultado de disponibilidad de radio enlace.**



La tabla XL muestra el resumen y registro de los cálculos de los enlaces que conforman la red de transmisión tal como se visualiza en la topología de red de la figura 60 para el departamento de El Quiché.

**Tabla XL. Resumen de enlaces de microonda.**

No.	SITIO A	SITIO B	Distancia Enlace (Km)	Altura Antena (m) A	Altura Antena (m) B	Acimut (°) Antena A	Acimut (°) Antena B	Diam. Antena (m)	Modelo Radio	Perd. Esp. Libre (dB)	Nivel Rx (dBm)	Frec. (Ghz)	Pot. Tx (dbm)
1	FASE1-6RRP	QUI-20	11.76	28	35	170.5	350.5	1.2	AX1	131.7	-39.8	8	18
2	QUI-01	QUI-TX3	19.26	10	10	327.2	147.2	1.2	AX1	136	-44.2	8	18
3	QUI-02	QUI-03	10.17	20	20	155.9	335.9	1.2	AX1	130.5	-38.5	8	18
4	QUI-03	CHM705	20.21	35	35	151.6	331.6	1.8	AX2	136.4	-30.6	8	25
5	QUI-04	QUI-TX1	12.61	20	20	188.2	8.2	0.6	AX1	132.3	-52.5	8	18
6	QUI-05	QUI-TX3	15.76	76	60	255.7	75.7	1.2	AX1	134.3	-42.4	8	18
7	QUI-06	QUI-03	8.74	20	20	213.4	33.4	0.6	AX1	129.2	-49.2	8	18
8	QUI-07	QUI-TX3	8.45	30	30	243	63	0.6	AX1	128.9	-48.9	8	18
9	QUI-08	QUI-06	5.56	60	76	229.6	49.6	0.6	AX1	125.2	-45.3	8	18
10	QUI-10	CHM705	32.98	25	48	224.3	44.3	1.2	AX2	140.7	-42	8	25
11	QUI-11	QUI-TX2	6.64	20	30	120.1	300.1	0.6	AX1	126.8	-46.8	8	18
12	QUI-12	CHM705	41.77	50	60	247.4	67.4	1.8	AX2	142.7	-37.1	8	25
13	QUI-13	QUI-03	10.49	76	20	102.4	282.4	0.6	AX1	130.7	-50.8	8	18
14	QUI-14	GT0099	71.26	30	30	156.3	336.3	1.2	AX3	137.1	-53.8	2.4	31
15	QUI-15	FASE1-6REP	12.74	30	30	219	39	1.2	AX1	132.4	-40.5	8	18
16	QUI-16	QUI-TX3	15.30	60	40	0.5	180.5	1.2	AX1	134	-42.1	8	18
17	QUI-17	QUI-02	9.49	50	45	107.8	287.8	1.2	AX1	129.9	-37.9	8	18
18	QUI-18	QUI-TX3	19.83	15	45	46.3	226.3	1.2	AX1	136.3	-44.4	8	18
19	QUI-19	QUI-TX1	6.73	20	20	198.6	18.6	0.6	AX1	126.9	-46.9	15	18
20	QUI-20	QUI-17	9.91	35	60	242.2	62.2	1.2	AX1	130.2	-38.3	8	18
21	QUI-21	CHM705	31.43	20	37	209.2	29.2	1.2	AX2	140.3	-41.5	8	25
22	QUI-TX1	FASE1-6REP	22.84	25	25	212.4	32.4	1.2	AX2	137.5	-38.7	8	25
23	QUI-TX2	FASE1-6REP	20.84	18	15	201.1	21.1	1.2	AX2	136.7	-37.9	8	25
24	QUI-TX3	QUI-15	16.54	25	35	260	80	1.2	AX1	134.7	-42.8	8	18
25	QUI-09	QUI-TX2	8.29	76	90	240	120	0.6	AX1	128.7	-48.8	8	18

Como complemento se presenta un resumen de las antenas de microonda que se utilizarán en el proyecto así como las características importantes de los equipos de radio seleccionados.

Referente a las antenas, las especificaciones especiales son principalmente el diámetro y ganancia de las mismas, haciendo mención adicional que la polarización definida es vertical.

Para los radios se especifica la potencia, la sensibilidad y la frecuencia de operación la que solo en un caso se ha decidido utilizar la 2.4 Ghz dado que durante el diseño fue la frecuencia a la que se obtuvo los mejores resultados por ser un enlace de mucha distancia. Los otros enlaces han sido definidos en la banda de 8 Ghz, dando buenos resultados.

Las tablas XLII XLIII muestran el resumen de antenas y radios respectivamente.

Tabla XLI. Características de las antenas de microonda.

<b>ANTENAS MICROONDA</b>		
<b>Díámetro (m)</b>	<b>Ganancia (dBi)</b>	<b>Polarización</b>
0.6	31.1	V
1.2	37.1	V
1.8	40.7	V

Tabla XLII. Características de los radios de microonda.

<b>EQUIPOS DE RADIO</b>			
<b>Modelo Radio</b>	<b>P Tx (dBm)</b>	<b>Sens Rx (dBm)</b>	<b>Banda</b>
AX1	18	-88.5	8 GHz
AX2	25	-80	8 GHz
AX3	31	-89	2.4GHz



## **4. CUANTIFICACIÓN ECONÓMICA DEL PROYECTO**

### **4.1 Estimación de la inversión**

El presente proyecto se divide en tres grupos de inversión económica que representan los principales costos del mismo. Se describe para cada uno de los grupos, los elementos que lo constituyen y sus respectivos costos.

Es importante señalar que en materia de negociación y adquisición de los equipos, Telefónica y sus proveedores, mantienen acuerdos establecidos por lo que no es necesario realizar ningún proceso de cotización o licitación para adquirir los mismos.

#### **4.1.1 Estaciones base**

Están conformadas por infraestructura y/o obra civil, que contiene la torre como elemento principal, acometida eléctrica y respaldo de energía (baterías), equipamiento electrónico como radio base (RBS), amplificadores de línea (LNA ó TMA) si fuese el caso y finalmente el sistema radiante (cables y antenas).

La estimación de costos de inversión para las estaciones base, incluyen como se mencionó anteriormente, la radio base (RBS) con la cantidad de portadoras diseñada, cables, material de instalación y antenas, y la respectiva mano de obra. También la instalación de la torre y la obra civil.

En la tabla XLIV se muestra el resumen de los costos asociados en la construcción de cada estación base.

**Tabla XLIII. Costos de construcción de las estaciones base.**

COSTO DE ESTACIONES BASE									
Sitio	Nombre sitio	Altura Torre	Modelo RBS	Costo Torre \$	Costo RBS \$	Obra Civil \$	Materiales Inst. \$	Costo Antenas \$	Total x sitio \$
QUI-01	CANILLA	40	2106	41,000	35,000	53,820	13,500	900	144,220
QUI-02	STA CRUZ DEL QUI	50	2106	51,250	35,000	64,275	13,500	900	164,925
QUI-03	CHICHICASTENANGO	76	2106	77,900	35,000	91,458	13,500	900	218,758
QUI-04	CHAJUL	40	2106	41,000	35,000	53,820	13,500	900	144,220
QUI-05	CHICAMAN	76	2106	77,900	35,000	91,458	13,500	900	218,758
QUI-06	CHICHE	60	2106	61,500	35,000	74,730	13,500	900	185,630
QUI-07	USPANTAN	40	2106	41,000	35,000	53,820	13,500	900	144,220
QUI-08	CHINIQUE	60	2106	61,500	35,000	74,730	13,500	900	185,630
QUI-09	CUNEN	76	2106	77,900	35,000	91,458	13,500	900	218,758
QUI-10	JOYABAJ	40	2106	41,000	35,000	53,820	13,500	900	144,220
QUI-11	NEBAJ	40	2106	41,000	35,000	53,820	13,500	900	144,220
QUI-12	PACHALUM	50	2106	51,250	35,000	64,275	13,500	900	164,925
QUI-13	PATZITE	76	2106	77,900	35,000	91,458	13,500	900	218,758
QUI-14	IXCAN	40	2106	41,000	35,000	53,820	13,500	900	144,220
QUI-15	SACAPULAS	40	2106	41,000	35,000	53,820	13,500	900	144,220
QUI-16	SAN ANDRES SAJC	60	2106	61,500	35,000	74,730	13,500	900	185,630
QUI-17	SAN ANTONIO ILOT	50	2106	51,250	35,000	64,275	13,500	900	164,925
QUI-18	SAN BARTOLOME JOC	40	2106	41,000	35,000	53,820	13,500	900	144,220
QUI-19	SAN JUAN COTZAL	40	2106	41,000	35,000	53,820	13,500	900	144,220
QUI-20	SAN PEDRO JOCOP	40	2106	41,000	35,000	53,820	13,500	900	144,220
QUI-21	ZACUALPA	40	2106	41,000	35,000	53,820	13,500	900	144,220
								<b>Total \$</b>	<b>\$3,513,117</b>

#### 4.1.2 Equipo de microondas

Incluye los radios de microonda, cables y antenas respectivas utilizados para realizar el enlace desde la estación base a la estación repetidora.

En el capítulo anterior se definió las configuraciones del equipo de microondas a utilizar en base al diseño de cada enlace, de donde surgen varios tipos y sus costos respectivos que se muestran en la siguiente tabla.

**Tabla XLIV. Costo de equipo de microondas.**

COSTO EQUIPOS TRANSMISIÓN				
Radio Tipo	Diámetro Antenas	Cantidad	Costo Unitario \$	Costo \$
AX1	0.6	8	16,000	128,000
AX1	1.2	10	23,000	230,000
AX2	1.2	4	29,500	118,000
AX2	1.8	2	32,000	64,000
AX3	1.2	1	38,400	38,400
			<b>Total \$</b>	<b>\$578,400.00</b>

#### 4.1.3 Estaciones Repetidoras de transmisión

Son las estaciones que no cuentan con una radio base para cursar tráfico, pero son parte de la estructura básica de la red de transporte.

Al igual que una estación base, están conformadas por infraestructura y/o obra civil, que contiene la torre como elemento principal, acometida eléctrica y respaldo de energía (baterías), equipamiento electrónico (radio enlace de microondas) y sistema radiante conformado por cables y antenas que según diseño puede variar su diámetro.

Las estaciones repetidoras consideran los costos de la obra civil y la torre principalmente dado que los costos del equipo de microonda han sido considerados en el inciso anterior. En la tabla número XLVIII se muestran los costos que implica la construcción de la red de transporte.

**Tabla XLV. Costos de la red de transporte.**

COSTO SITIOS DE TRANSMISIÓN				
Sitio	Altura de Torre	Costo Torre \$	Costo Obra Civil \$	Costo sitio \$
TX1	40	41,000	49,820	90,820
TX2	76	77,900	87,458	165,358
TX3	76	77,900	87,458	165,358
CERRO TZUJIL	40	41,000	49,820	90,820
			<b>Total \$</b>	<b>\$512,356.00</b>

La ampliación de la red GSM en el departamento de El Quiché es complemento de la red existente en el país y para equiparla Telefonica utilizará los mismos proveedores.

#### **4.2 Estimación de los gastos de operación**

Estos gastos están constituidos principalmente por:

- Renta de emplazamiento

Generalmente un sitio es rentado y se estima el valor en función de la región. En este caso municipios del departamento de El Quiché.

Los lugares arrendados pueden ser particulares o de propiedad municipal, en la que se aporta beneficio a la comunidad respectiva.

- Consumo de energía eléctrica

El costo es establecido por la empresa suministradora del servicio en cada localidad.

- Costo de mantenimiento

Están establecidos dentro de los costos de operación de la red de Telefonica y son parte del presupuesto anual de la empresa.

**Tabla XLVI. Costos de operación de una estación.**

<b>Resumen gastos de operación por sitio</b>	
Descripción	Costo \$
Renta Sitio	200
Energía Eléctrica	250
Mantenimiento Preventivo	350
<b>Total por sitio</b>	<b>\$800.00</b>

En función de asignación de presupuesto de parte de la corporación para desarrollar este proyecto se ha planteado a la empresa que la inversión se realizará en cuatro fases con duración de un mes cada una. La siguiente tabla muestra los costos implicados para desarrollar el proyecto.

**Tabla XLVII. Costos del proyecto por fase.**

<b>Costo por Fase</b>	
Fase	Inversión \$
1	1,090,756
2	1,344,246
3	1,146,193
4	1,022,678
<b>Costo total \$</b>	<b>\$4,603,873.00</b>

#### **4.3 Análisis de rentabilidad**

Como toda empresa el fin es obtener beneficio económico de la inversión realizada, por ende éste proyecto aunado al propósito de brindar acceso a las comunicaciones telefónicas celulares a través de la cobertura a todos los municipios del departamento de El Quiché pretende asegurar la rentabilidad de la misma captando una buena porción del mercado y por tal razón se realiza el siguiente análisis de rentabilidad.

El propósito inicial es estimar el tiempo de retorno de la inversión a través del cálculo del flujo de caja. Dicho cálculo se basa en el total a invertir, en los gastos de operación y los ingresos que se darían en cada fase.

En consecuencia se trata de hacer eficiente los ingresos y establecer los gastos necesarios para no incurrir en pérdidas.

Como parte de los gastos iniciales que la empresa debe estimar es el costo de adquisición de un cliente CAC que representa el costo promedio que la empresa invierte para la adquisición del mismo. Este gasto incluye todos los gastos de operación, publicidad y subsidio de terminales móviles principalmente.

El CAC para Telefónica Móviles se estima en US \$25.00. Por otra parte la empresa capta el beneficio económico a través de ingresos por medio del ARPU que representa el valor mensual que genera cada usuario y el promedio es de US \$11.00 mensuales.

La asignación presupuestaria de parte de la empresa ha definido que la implementación de la red se realice en cuatro fases con duración de cada mes cada una. Por lo tanto la cantidad de clientes que puede ser cubierta varía según se implementan las fases, así como los gastos de operación y los ingresos generados por los usuarios.

Aunado a este precepto se ha estimado que a partir de la puesta en servicio de cada sitio, se cuenta con un período de 18 meses para cubrir la demanda de usuarios indicada en el capítulo 1.

De la tabla LI se observa que a partir del quinto mes de operación de la red, el saldo generado es positivo y el flujo de caja a partir del mes 14 de operación se vuelve igualmente recuperándose el monto invertido.

Es importante mencionar que este cálculo se realiza con base en los ingresos generados únicamente por los sitios nuevos. Sin embargo si se consideran los ingresos y egresos de la red completa, el tiempo de recuperación es mucho menor. En la tabla XLIX se muestran las variables consideradas en la operación de la red.

**Tabla XLVIII. Flujo de caja.**

MES	INVERSIÓN \$	CAC \$	OPEX \$	INGRESO \$	SALDO \$	FLUJO DE CAJA \$
1	1,090,756	0	4,000	0	-1,094,756	-1,094,756
2	1,344,246	508,676	10,400	223,817	-1,639,505	-2,734,261
3	1,146,193	197,022	16,000	310,507	-1,048,708	-3,782,968
4	1,022,678	426,559	20,800	498,193	-971,844	-4,754,812
5	0	0	20,800	498,193	477,393	-4,277,419
6	0	0	20,800	498,193	477,393	-3,800,026
7	0	0	20,800	498,193	477,393	-3,322,633
8	0	0	20,800	498,193	477,393	-2,845,240
9	0	0	20,800	498,193	477,393	-2,367,847
10	0	0	20,800	498,193	477,393	-1,890,454
11	0	0	20,800	498,193	477,393	-1,413,061
12	0	0	20,800	498,193	477,393	-935,668
13	0	0	20,800	498,193	477,393	-458,275
14	0	0	20,800	498,193	477,393	19,118
15	0	0	20,800	498,193	477,393	496,512
16	0	0	20,800	498,193	477,393	973,905
17	0	0	20,800	498,193	477,393	1,451,298
18	0	0	20,800	498,193	477,393	1,928,691
19	0	0	20,800	498,193	477,393	2,406,084
20	0	0	20,800	498,193	477,393	2,883,477
21	0	0	20,800	498,193	477,393	3,360,870
22	0	0	20,800	498,193	477,393	3,838,263
23	0	0	20,800	498,193	477,393	4,315,656
24	0	0	20,800	498,193	477,393	4,793,049
25	0	0	20,800	498,193	477,393	5,270,442
26	0	0	20,800	498,193	477,393	5,747,835
27	0	0	20,800	498,193	477,393	6,225,228
28	0	0	20,800	498,193	477,393	6,702,622
29	0	0	20,800	498,193	477,393	7,180,015
30	0	0	20,800	498,193	477,393	7,657,408
31	0	0	20,800	498,193	477,393	8,134,801
32	0	0	20,800	498,193	477,393	8,612,194
33	0	0	20,800	498,193	477,393	9,089,587
34	0	0	20,800	498,193	477,393	9,566,980
35	0	0	20,800	498,193	477,393	10,044,373
36	0	0	20,800	498,193	477,393	10,521,766
37	0	0	20,800	498,193	477,393	10,999,159
38	0	0	20,800	498,193	477,393	11,476,552

Continuación....							
39	0	0	20,800	498,193	477,393	11,953,945	
40	0	0	20,800	498,193	477,393	12,431,339	
41	0	0	20,800	498,193	477,393	12,908,732	
42	0	0	20,800	498,193	477,393	13,386,125	
43	0	0	20,800	498,193	477,393	13,863,518	
44	0	0	20,800	498,193	477,393	14,340,911	
45	0	0	20,800	498,193	477,393	14,818,304	
46	0	0	20,800	498,193	477,393	15,295,697	
47	0	0	20,800	498,193	477,393	15,773,090	
48	0	0	20,800	498,193	477,393	16,250,483	
49	0	0	20,800	498,193	477,393	16,727,876	
50	0	0	20,800	498,193	477,393	17,205,269	
51	0	0	20,800	498,193	477,393	17,682,662	
52	0	0	20,800	498,193	477,393	18,160,055	
53	0	0	20,800	498,193	477,393	18,637,449	
54	0	0	20,800	498,193	477,393	19,114,842	
55	0	0	20,800	498,193	477,393	19,592,235	
56	0	0	20,800	498,193	477,393	20,069,628	
57	0	0	20,800	498,193	477,393	20,547,021	
58	0	0	20,800	498,193	477,393	21,024,414	
59	0	0	20,800	498,193	477,393	21,501,807	
60	0	0	20,800	498,193	477,393	21,979,200	
61	0	0	20,800	498,193	477,393	22,456,593	
62	0	0	20,800	498,193	477,393	22,933,986	
63	0	0	20,800	498,193	477,393	23,411,379	
64	0	0	20,800	498,193	477,393	23,888,772	
65	0	0	20,800	498,193	477,393	24,366,166	
66	0	0	20,800	498,193	477,393	24,843,559	
67	0	0	20,800	498,193	477,393	25,320,952	
68	0	0	20,800	498,193	477,393	25,798,345	
69	0	0	20,800	498,193	477,393	26,275,738	
70	0	0	20,800	498,193	477,393	26,753,131	
71	0	0	20,800	498,193	477,393	27,230,524	
72	0	0	20,800	498,193	477,393	27,707,917	
73	0	0	20,800	498,193	477,393	28,185,310	
74	0	0	20,800	498,193	477,393	28,662,703	
75	0	0	20,800	498,193	477,393	29,140,096	
76	0	0	20,800	498,193	477,393	29,617,489	
77	0	0	20,800	498,193	477,393	30,094,882	
78	0	0	20,800	498,193	477,393	30,572,276	
79	0	0	20,800	498,193	477,393	31,049,669	
80	0	0	20,800	498,193	477,393	31,527,062	
81	0	0	20,800	498,193	477,393	32,004,455	
82	0	0	20,800	498,193	477,393	32,481,848	
83	0	0	20,800	498,193	477,393	32,959,241	
84	0	0	20,800	498,193	477,393	33,436,634	

Otros factores financieros a considerar para el desarrollo y justificación del proyecto son la tasa interna de retorno TIR y el valor actual neto de la inversión VNA. Estos indican la tasa de interés que produce la inversión en un plazo establecido y el valor actual neto de la renta generada durante el mismo período respectivamente.

Según los estándares adoptados por la empresa, se considera un plazo de siete años el tiempo de vida útil de los equipos de telecomunicaciones instalados. Así también se considera una tasa de interés anual del 11% para el cálculo del VNA.

La tabla LII muestra el resumen del flujo de caja anual calculado para los siete años definidos por la empresa. La misma muestra también el TIR y VNA, que ha dado como resultado un 9% y un valor actual neto de \$20,990,888 respectivamente, valores que se consideran apropiados desde el punto de vista financiero.

**Tabla XLIX. Estimación del TIR y VNA.**

Año	Flujo de Caja
1	-\$935,668
2	\$5,728,717
3	\$5,728,717
4	\$5,728,717
5	\$5,728,717
6	\$5,728,717
7	\$5,728,717
TIR	9%
VNA	\$20,990,888

A revisar los resultados financieros en función de la inversión y el periodo de recuperación de la misma, es notorio que la expansión de cobertura de telefonía celular para el departamento de El Quiché se torna en beneficio para la empresa sabiendo que será rentable y para dicho departamento y sus respectivas comunidades la oportunidad de participar inicialmente en dicha inversión y posteriormente el empuje que la telefonía brinda.



## CONCLUSIONES

1. El análisis socio-económico y de mercado determinó que se cubrirá y prestara los servicios de telefonía móvil celular GSM en los principales centros urbanos (cabeceras municipales) del departamento de El Quiché dado que es en ellos donde se concentra en promedio el 25% de la población, así como donde se genera la mayor actividad comercial.
2. El área a cubrir y la demanda estimada determinó que se requiere una sola estación base por cabecera municipal, para cumplir dichas especificaciones de diseño. No se consideró cubrir la red de carreteras del departamento de El Quiché, lo constituiría un proyecto por aparte.
3. A pesar de las dificultades topográficas con las que cuenta el departamento de El Quiché, sólo fue necesario incluir tres nuevas estaciones de repetición en el diseño de la red de transmisión. Esto representa un gran ahorro en los costos de inversión dado que podrían haber sido muchos más dadas las condiciones naturales de la región.
4. El período calculado de recuperación de la inversión para el proyecto es financieramente aceptable, por lo tanto resulta rentable para la empresa.
5. Los costos calculados de operación y mantenimiento son relativamente bajos y no constituyen parte de los costos de inversión debido a que son absorbidos dentro del presupuesto para este rubro dentro de la empresa.

6. Paralelamente al beneficio económico que para la empresa representa, el valor social que se agrega a las comunidades resulta mucho más valioso al poner a disposición de cada habitante un medio seguro, confiable y de buena calidad para comunicarse en casos de crisis diversas ó para acercarse al resto del país y del mundo. A la fecha, estos servicios son nulos en mayoría de municipios dado que otros operadores de telefonía móvil no prestan aún.
  
7. La realización del ejercicio profesional supervisado (EPS) aplicado a la expansión de servicios de telecomunicaciones, permite que los estudiantes aporten los conocimientos adquiridos durante su preparación para desarrollar un trabajo integral de carácter profesional utilizando la disponibilidad de recursos que una empresa de telecomunicaciones pueda disponer para planificar, diseñar é implementar proyectos reales dirigidos beneficiar a comunidades del interior de país.

## RECOMENDACIONES

1. El presente proyecto a pesar de darse en condiciones reales, quedan verificaciones de campo que deben ser analizadas y definidas para concretarse durante la implementación física del mismo. Dentro de estas ha de validarse los puntos donde se ha desarrollado el diseño de cada estación base y de transmisión dado que puede variar dicha ubicación en función de disponibilidad de renta y licencias municipales, línea vista del respectivo enlace de transmisión y de las condiciones del terreno donde se edificara la estación base.
2. La telefonía móvil debe ser un servicio continuo, por tal razón, es conveniente evaluar respaldos de energía eléctrica en aras de mantener la calidad, aún en las adversidades. Para tal efecto, se sugiere equipar con bancos de baterías que den autonomía de hasta 8 horas a las radiobases, así como equipar a las estaciones muy alejadas con motores generadores y principalmente las estaciones de repetición de microonda para garantizar dicha calidad.
3. Fomentar el conocimiento y la formación en el ramo de las telecomunicaciones y su aplicación a proyectos realizables a través de los programas del Ejercicio Profesional Supervisado respaldado por la Universidad de San Carlos de Guatemala, dirigidos a beneficiar y servir a comunidades rurales, de las cuales aún quedan muchas en las condiciones en las que se encontró el departamento de El Quiché.



## BIBLIOGRAFÍA

1. **En cifras: Guatemala.** 2ª ed. (Vol. 1 número 1.1)  
Guatemala: Global InfoGroup. 1999. 256pp.
2. **BSC-TRC Product Description Package.** Suecia: Ericsson Radio Systems AB. 2002. 33pp.
3. **BSS Description.** Suecia: Ericsson Radio Systems AB. 2002. 40pp.
4. **OSS Product Description.** Suecia: Ericsson Radio Systems AB. 2002. 11pp.
5. Collin, Robert E. **Antenas and Radiowave Propagation.**  
Estados Unidos: McGraw-Hill. 1985. 508pp.
6. Kraus, John D. **Antennas.** 2ª ed. Estados Unidos: McGraw-Hill. 1988. 892pp.
7. Hayt, William H. **Teoría Electromagnética.** Segunda edición. México D.F: McGraw-Hill, 1991.
8. Ayuso, Rafael, Ceña, Fernández, Millán y Torre Maria Saturnina. **Comunicaciones Móviles GSM.** 1ª ed. España: Fundación Airtel. 1999. 725pp.
9. Lee, William C. Y. **Mobile Communications Design Fundamentals.** 2ª ed. Estados Unidos: John Wiley & Sons, Inc. 1992. 370pp.
10. **RF Guidelines 1900.** Suecia: Ericsson Radio Systems AB. 2002. 45pp.
11. Taub, Herbert y otros. **Principles of Communications Systems.** 2ª ed. Estados Unidos: McGraw-Hill. 1896. 759pp.