



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES

**“Trabajo de grado previo a la obtención del Título de
Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones”**

MODALIDAD: TESIS

**Propuesta de Migración de tecnología 2G A 3.5G en la
Parroquia Quimiag**

Autor: Marcelo Patricio Yanza Chávez

Director de Tesis: Ing. Marco Nolivos

Riobamba – Ecuador

Julio 2011

CALIFICACIÓN

Los miembros del tribunal, luego de haber receptado la defensa de trabajo escrito, hemos determinado la siguiente calificación.

Para constancia de lo expuesto firman:

Ing. Yesenia Cevallos
Presidente del Tribunal

Firma

Ing. Marco Nolivos
Director del Proyecto

Firma

Ing. Daysi Inca
Miembro del Tribunal

Firma

DERECHO DEL AUTOR

Yo, Marcelo Patricio Yanza Chávez soy responsable de las ideas, doctrinas, resultados y propuestas expuestas en el presente trabajo de investigación y los derechos de autoría pertenecen a la Universidad Nacional de Chimborazo.

DEDICATORIA

Esta tesis la dedico con todo mi amor y cariño a ti DIOS que me diste la oportunidad de vivir y de regalarme una familia maravillosa.

Con mucho cariño principalmente a mis padres que me han dado la vida y han estado conmigo en todo momento. Gracias Papá y Mamá por darme una carrera para mi futuro y por creer en mí siempre han estado apoyándome y brindándome todo su amor por todo esto les agradezco de todo corazón que estén a mi lado

A mi esposa y mis Hijas que han sido mi inspiración para seguir adelante .A mis hermanos Geovanny y Mary gracias por estar conmigo y apoyarme siempre, los quiero mucho.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a la Universidad Nacional de Chimborazo por haberme acogido y brindarme la oportunidad de ser un representante de la misma. A mis profesores quienes me han enseñado a ser mejor en la vida y a realizarme profesionalmente.

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPÍTULO 2.

Figura 1. Un ejemplo del concepto de videoconferencia	6
Figura 2. Evolución de los sistemas de comunicaciones móviles desde 2G	10
Figura 3. Evolución de los estándares de telefonía móvil hacia los sistemas de tercera generación.	12
Figura 4. Arquitectura del sistema UMTS de alto nivel.....	15
Figura 5. Elementos e interfaces de red en un nivel más profundo.....	16

CAPÍTULO 3.

Figura 6. Diagrama de un enlace microonda.....	27
Figura 7. Diagrama de bloques de un radió enlace típico	30
Figura 8. Etapa de banda base de un radió enlace PDH.....	32
Figura 9. Equipo De Microonda De Alta Capacidad Pdh (140 Mb/S).....	46

CAPÍTULO 4.

Figura 10. Imagen Física De Un Enlace De Microondas.....	49
Figura 11. Plot De Simulación De Enlace Radioeléctrico	50
Figura 12 Cálculo del área de cobertura.....	56

CAPÍTULO 5.

Figura 13. Esquema general equipo UMTS	64
Figura 14. Módulos funcionales de la BBU	66

CAPÍTULO 6.

Figura 15. Unidad BBU.....	67
Figura 16. Módulos funcionales de la RRU	68
Figura 17. Unidad RRU.....	68
Figura 18. Diagrama Proyectado UMTS.....	69

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación de las clases de servicios del UMTS.....	7
Tabla 2. Clasificación de Banda de frecuencias	26
Tabla 3. Cálculo de pérdidas de propagación entre el Nodo B y el Terminal UE.....	55
Tabla 4. Datos para el cálculo de la capacidad y tráfico según clientes; Error! Marcador no definido.	
Tabla 5. Resultados Obtenidos	Error! Marcador no definido.
Tabla 6. Especificaciones Técnicas	65

RESUMEN

En esta Tesis se lleva a cabo un análisis de las redes celulares de Tercera Generación basada en WCDMA desde el punto de vista de planificación y estimación de capacidad.

Un análisis de este tipo es una tarea compleja debido a la gran cantidad de factores que intervienen. El estudio abarca un modelo de planificación para sistemas de 3G basado en un Sistema de Información Geográfica considerando los factores más importantes que afectan a la capacidad, como por ejemplo la Estructura celular utilizada, el escenario, ubicación de antenas, los modelos de Propagación, correlación entre caminos de propagación, parámetros de handover, Ortogonalidad de los códigos, calidad requerida.

Esta tesis se sitúa dentro del marco de la investigación dedicada a los Sistemas de Telefonía móvil de Tercera Generación UMTS desarrollada por el Grupo de Comunicaciones Móviles.

El capítulo primero se basa en los Objetivos generales y específicos del presente trabajo de investigación

El capítulo segundo se dedica a introducir los principios básicos de los Sistemas de Tercera Generación. En este capítulo se presentan las características generales del sistema y los servicios ofrecidos por el mismo, así como la clasificación según la finalidad del servicio; este apartado será el punto de partida del planteamiento de la Tesis, veremos también en este capítulo una breve explicación de la evolución histórica de los estándares de telefonía móvil desde la primera generación hasta llegar al estado actual de las comunicaciones móviles. En este capítulo se explica también la arquitectura del sistema a nivel físico y a nivel de Interfaces entre sí; el objetivo de este punto es entender los fundamentos del sistema UMTS en los que se basa esta tesis.

El capítulo tercero, se centra en el medio de transporte utilizado. Y los cálculos del enlace

microonda.

El capítulo cuarto es el núcleo de esta tesis cuyo título, es definición del escenario de diseño de sistemas de 3G, este capítulo situará al lector en el entorno del trabajo, mostrando, en general los pasos realizados para implementar nuestro modelo de planificación y los parámetros que tienen cierta influencia sobre la capacidad y se analiza cada uno y el efecto que tienen sobre el sistema bajo estudio.

El capítulo quinto se describe mediante los resultados obtenidos el dimensionamiento de la red la elección del nodo B a utilizarse.

El capítulo sexto recoge las conclusiones obtenidas acerca de la planificación y Capacidad en Sistemas 3G, así como las propuestas de líneas de investigación futuras para ampliar el análisis realizado.

SUMMARY

In this thesis conducts an analysis of third-generation cellular networks based on WCDMA from the perspective of capacity planning and estimation. An analysis of this type is a complex task because of the many factors involved. The study covers a planning model for 3G systems based on a Geographic Information System considering the most important factors affecting capacity, such as cell structure used, the stage, location of antennas, propagation models, correlation between propagation paths, handover parameters, orthogonality of the codes, as required.

This thesis is situated within the framework of research devoted to systems of third generation mobile telephony UMTS developed by the Mobile Communications Group.

The first chapter is based on the general and specific objectives of this research work

The second chapter is devoted to introducing the basic principles of Third Generation Systems. This chapter presents the general characteristics of the system and services

offered by it, and the classification according to the purpose of service, this section will be the starting point for the approach of the thesis, as discussed in Chapter 4. We will also see in this first chapter a brief explanation of the historical evolution of wireless standards from the first generation to reach the current state of mobile communications. This chapter also explains the system architecture level and physical level interfaces together, the objective here is to understand the basics of UMTS in supporting this thesis.

The third chapter focuses on the means of transportation. and microwave link calculations
The fourth chapter is the core of this thesis whose title is defining the design stage of 3G systems, this chapter will put the reader in the work environment, showing, in general the steps taken to implement our planning model and parameters who have some influence on the ability and analyzed each and the effect they have on the system under study.

In the fifth chapter describes the results obtained by the dimensioning of the network the choice of node B to be used. The sixth chapter contains the conclusions drawn about the planning and capacity in 3G systems, as well as proposals for future research lines to extend the analysis.

INTRODUCCIÓN

Las actuales aplicaciones y tendencias tecnológicas producidas por la globalización, hacen que los usuarios locales de telefonía móvil celular exijan nuevos y mejores servicios (navegación WAP (Wireless Application Protocol), mensajes multimedia, transmisión de datos, videoconferencias, oficinas virtuales, juegos en línea, etc.) que traen consigo la necesidad de implementar soluciones tecnológicas capaces de satisfacer las necesidades tanto de velocidad como de calidad. Estos requerimientos junto con las condiciones y perspectivas del mercado local, que muestra la cercanía de la penetración del servicio celular a un nivel de saturación en el corto y mediano plazo, se enmarcan perfectamente en los objetivos fundamentales planteados por UMTS (Universal Mobile Telecommunication System). Así pues con un escenario donde el mercado celular tiene un grado de madurez tal que alcanza el 75% de penetración nacional, las perspectivas de rentabilidad de los operadores deben centrarse en la prestación y explotación de estos servicios.

Además de lo expuesto, una de las ventajas que tiene UMTS como tecnología de 3G (Third Generation) para ser implementada en el país es que el proceso de migración a partir de las redes GSM (Global System for Mobile communications) actualmente desplegadas en el medio resulta natural y evolutivo, esto representa para el operador la posibilidad de implementar las nuevas funcionalidades y realizar las modificaciones necesarias a la infraestructura de forma paulatina y planificada. El objetivo de este estudio es plasmar el proceso de planificación de una red celular enmarcada en la perspectiva local del mercado, en su camino evolutivo desde una red de segunda generación como GSM diseñada para brindar fundamentalmente servicios de voz, seguido de un paso tecnológico intermedio a través de GPRS/EDGE (General Packet Radio Service/Enhanced Data Rates for GSM Evolution) que permite la transmisión de datos a velocidades de hasta 384Kbps (teóricamente), para finalmente desplegar UMTS como tecnología de 3G, por medio de la cual se sustentará la provisión de servicios multimedia, que requieren tasas de transmisión cercanas a los 2Mbps, en condiciones ideales.

ÍNDICE

RESUMEN	III
SUMARY	V
INTRODUCCIÓN.....	VI
CAPÍTULO 1.....	1
1. INTRODUCCIÓN AL DISEÑO.....	1
1.1 PLANTEAMIENTO DEL DISEÑO.....	1
1.2 OBJETIVOS	2
1.2.1 Objetivo General	2
1.2.2Objetivos Específicos.....	2
CAPÍTULO 2.....	3
2. Introducción a los sistemas UMTS	3
2.1 Características generales	3
2.2 Servicios ofrecidos para UMTS.....	5
2.2.1 Clasificación en función de la QoS (Quality of Service).....	5
2.2.2 Clasificación según la finalidad del servicio.....	7
	VII

2.3 Evolución hacia la 3ª generación	8
2.3.1 Primera generación	8
2.3.2 Segunda generación.....	9
2.3.3 Segunda generación mejorada	9
2.3.4 Tercera generación	11
2.4 Arquitectura del sistema UMTS.....	14
2.4.1 Terminales móviles	16
2.4.2 Red de acceso radio (UTRAN).....	16
2.4.3 Núcleo de Red (Core Network).....	17
2.5 Conceptos teóricos del acceso radio UMTS.....	19
2.5.1 Técnicas de acceso radio	19
CAPÍTULO 3	24
3.1. Medios de Transmisión	24
3.1.1. Concepto.....	24
3.1.2. Características.....	24
3.1.5. Medios de transmisión no guiados	25
3.2. Microondas	26
3.2.1. Radio enlace	27
3.2.3 Radio enlace Utilizado	27
3.2.4 Radio enlaces Fijos Terrestres.....	28
Digresión Histórica	28
3.2.5- Banda Base Digital.....	29
Canales de Servicio y Supervisión.....	32
3.2.6 Operación Bi/Be y D/I.....	34
3.3 Modem y Transceptor	38
3.3.1 Etapa Modulador-Demodulador	38
3.3.2 Etapa Transmisor-Receptor	40
3.4 Particularidades de los Sistemas	42
3.4.1 Sistema de Baja y Media Capacidad	42
3.4.2 Sistemas de Alta Capacidad Pdh (140 Mb/S).....	45
3.5 Sistemas Sdh A 155 Mb/S.....	46
3.5.1. Antenas de Microondas	48
CAPÍTULO 4	51

4.1 Planificación de Cobertura	51
4.2 Requerimientos de Cobertura.....	54
4.3 Definición del Escenario De Diseño	57
4.4 Datos Generales	57
4.4.1 Dimensionamiento del Enlace Ascendente (Up Link).....	58
4.4.2 Dimensionamiento por Capacidad del Enlace Ascendente al 60%	59
4.4.3 Cálculo de Llamadas de voz	59
CAPÍTULO 5	63
5.1. Elección del Tipo de Nodo B	63
5.1.1 Esquema general	63
5.1.2 Características Generales	64
5.2 Especificaciones Técnicas	65
5.3 Descripción de la unidad BBU 3800	66
5.3.1 Las conexiones necesarias para cada BBU son:	67
5.3.2 Las Dimensiones de una BBU son:.....	67
5.4 Descripción de la Unidad RRU3801C	67
CAPÍTULO 6	70
6.1 CONCLUSIONES	70
6.2 RECOMENDACIONES	72
ANEXO 1	74
ANEXO 2	76
ANEXO 3	77
ANEXO 4	79
ANEXO 5	81

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN AL DISEÑO

En este capítulo se describirá el planteamiento del diseño y los objetivos del mismo.

1.1 PLANTEAMIENTO DEL DISEÑO

Durante los últimos años está en auge el uso de las nuevas tecnologías en las redes celulares, las cuales permiten el acceso a todo un mundo de información, por lo cual se plantea: Planificar y diseñar estaciones base con el propósito de brindar un servicio de video-llamada, datos en una plataforma de tercera generación y que esta red cubra la zona rural de la parroquia Quimiag.

Para ello vamos a necesitar datos como:

El tipo de equipo que se va a utilizar para implementar esta red UTRAN (UMTS Terrestrial Radio Access Network), como son el RNC (Radio Network Controller) y los Nodos B, de los cuales sus características se mencionarán posteriormente.

El tipo de interfaces que se va a encargarse de la conexión de este equipo.

El número de usuarios móviles existentes en la zona de nuestro estudio, tanto en número de operadores como en tipo de tecnología.

El factor de penetración que nos va a indicar un porcentaje obtenido entre la relación de número de usuarios y el número total de habitantes existentes.

Determinación del área de servicio, es decir, del área en que se desea brindar cobertura UMTS en la Parroquia Quimiag.

Determinar el flujo de tráfico que va a cursar a través de nuestro sector de estudio. Una vez obtenidos todos estos datos, realizar los cálculos que se requieran para obtener los resultados deseados.

1.2 OBJETIVOS

Al realizar el proceso mencionado se persiguen los siguientes objetivos:

1.2.1 Objetivo General

- Proponer la Migración de Tecnología 2G A 3.5G en la Parroquia Quimiag para brindar a los usuarios el mejor servicio de telefonía celular de tercera generación.

1.2.2Objetivos Específicos

- Conocer el proceso de planificación y diseño de estaciones base para brindar un servicio de video-llamada, datos en una plataforma de tercera generación.
- Describir la arquitectura, las principales características y capacidades tecnológicas de un sistema de tercera generación.
- Describir las funcionalidades de una red UMTS, incluyendo el diseño y dimensionamiento de redes de acceso en sistemas móviles de tercera generación

CAPÍTULO 2

2. Introducción a los sistemas UMTS

2.1 Características generales

Los sistemas de 3ª generación, surgen con el propósito de aumentar la versatilidad de los actuales sistemas de telefonía móvil, es decir se intenta aumentar las prestaciones de los servicios ofrecidos a los usuarios. En 2G se tenía la posibilidad de realizarse comunicaciones de voz y mensajes cortos. Además, empiezan a aparecer las aplicaciones que permiten la transmisión de datos hacia y desde las actuales redes de transmisión de datos, gracias a las mejoras incorporadas por nuevos estándares de 2G como por ejemplo GPRS.

La tercera generación, no podía únicamente surgir con el propósito de mejorar los servicios existentes, sino que debía incorporar gran cantidad de servicios. Estos nuevos servicios, están íntimamente relacionados con aplicaciones multimedia en un entorno móvil.

Analizando estos nuevos servicios, podemos concluir que sus características no mantienen una pauta común. Por ejemplo, la tasa binaria necesaria para la transmisión de un servicio de videoconferencia, es muchísimo mayor que la necesaria para la transmisión de información de interés de ámbito local (policía, ambulancias, museos, etc.) También es evidente que los requerimientos de calidad de los servicios que acabamos de comentar son profundamente diferentes. El ancho de banda en DL y UL es asimétrico en algunos servicios. (Tiempo real como por ejemplo voz, o no tiempo real como por ejemplo Web).

Todo esto nos lleva a la necesidad de que la nueva tecnología, posea la versatilidad suficiente, para acoger un amplio espectro de servicios de muy diversa índole. Si traducimos estas características de servicio, en características técnicas, obtenemos los siguientes requisitos para los sistemas de tercera generación:

Transmisión simétrica/asimétrica de alta fiabilidad.

Uso de ancho de banda dinámico, en función de la aplicación.

Velocidades binarias mucho más altas: 144 kbit/s en alta movilidad, 384kbit/s en espacios abiertos y 2 Mbit/s en baja movilidad.

Soporte tanto de conmutación de paquetes (PS) como de circuitos (CS)

Soporte IP para acceso a Internet (navegación WWW), videojuegos, comercio electrónico, y vídeo y audio en tiempo real.

Diferentes servicios simultáneos en una sola conexión.

Calidad de voz como en la red fija.

Soporte radioeléctrico flexible, con utilización más eficaz del espectro, con bandas de frecuencias comunes en todo el mundo.

Personalización de los servicios, según perfil de usuario.

Servicios dependientes de la posición (localización) del usuario.

Incorporación gradual en coexistencia con los sistemas actuales de 2G.

Itinerancia (roaming), incluido el internacional, entre diferentes operadores y tipos de redes.

Ambientes de funcionamiento marítimo, terrestre y aeronáutico.

Capacidad de terminales tele cargables, multibanda y multientorno.

Economías de escala y un estándar global y abierto que cubra las necesidades de un mercado de masas.

Provisión de un “ambiente local virtual “ VHE: el usuario podrá recibir el mismo servicio independiente de su ubicación geográfica.

2.2 Servicios ofrecidos para UMTS

Los servicios de tercera generación proporcionarán diversas ventajas sobre los de las generaciones anteriores, entre las que se encuentran el acceso móvil a Internet a velocidades elevadas y servicios multimedia. Básicamente, combinan el acceso móvil de alta velocidad con los servicios basados en el protocolo IP. Esto no sólo conlleva una conexión rápida a Internet, sino también realizar transacciones bancarias a través del teléfono, hacer compras o consúltale todo tipo de información.

Mientras que el sistema actual GSM y los terminales móviles no están preparados para la transmisión rápida de datos, la tercera generación UMTS permite la transmisión de información multimedia a una velocidad de hasta 2 Mbps. Además, permite estar conectado a la red de forma permanente sin tarificar más que cuando se utilice el terminal para realizar una operación.

UMTS evoluciona para integrar todos los servicios ofrecidos por las distintas tecnologías y redes actuales (GSM, DECT, ISDN, Internet, etc.) y se podrá utilizar con casi cualquier tipo de terminal: teléfono fijo, inalámbrico, celular, terminal multimedia, etc., tanto en ambientes profesionales como domésticos, ofreciendo una mayor calidad de los servicios y soportando la personalización por parte del usuario y los servicios multimedia móviles en tiempo real.

Las principales clasificaciones de los tipos de servicios que hasta ahora se han realizado, vienen dadas en función de la calidad del servicio y en función de la finalidad del servicio.

2.2.1 Clasificación en función de la QoS (Quality of Service)

En general, las aplicaciones y servicios pueden ser divididos en diferentes grupos, dependiendo de qué factores determinemos como más importantes. En UMTS han sido identificados 4 tipos distintos de aplicaciones, son las denominadas ‘Clases de Calidad de Servicio de UMTS (UMTS QoS clases) que son:

- Conversacional: son aquellos servicios en los que mantienen una conversación en tiempo real. Los usuarios finales van a ser personas, por lo que sus características están impuestas por la percepción humana. El retardo extremo a extremo debe ser bajo (<400 ms). El tráfico suele ser bastante simétrico. Ejemplo: voz, videotelefonía, videojuegos.
- De flujo continuo: son aquellos servicios en los que la información puede ser procesada y presentada al usuario final conforme van llegando los paquetes del flujo de información. Es decir, no es necesario esperar a que el conjunto entero de la información sea recibido. Muy indicado cuando la velocidad de descarga de información es baja. Tráfico muy asimétrico. Ejemplo: multimedia en ráfaga (se ejecutan sobre plugs-in que poseen los navegadores). Figura 1.1 muestra un ejemplo del concepto de videoconferencia.
- Interactivo: es aquel servicio en el que uno de los extremos solicita información a un equipo remoto. Tráfico muy asimétrico. Ejemplo: información relacionada con la ubicación en cada instante del terminal móvil (emergencias, tiendas más próximas), navegación por Internet, etc.



Figura 1. Un ejemplo del concepto de videoconferencia

No críticos: son aquellos servicios que no tienen requerimientos temporales, dado que forman parte de aplicaciones que no requieren una actuación

inmediata sobre la información.

La principal distinción entre estos tipos de tráfico es la sensibilidad que poseen frente al retardo, que va desde la clase más sensible a retardos (conversacional) hasta la menos sensible (no críticos). La siguiente tabla muestra un resumen de cada una de las clases anteriores con sus características generales y algunos ejemplos de aplicaciones.

CLASES "UMTS QOS"	CARACTERÍSTICAS	EJEMPLO DE APLICACIÓN
CONVERSACIONAL	Necesidad de retardo temporal corto y fijo entre unidades	Voz, vídeo telefonía y vídeo
FLUJO CONTINUO	Necesidad de retardo temporal fijo.	Multimedia de flujo continuo (TV, Radio, etc)
INTERACTIVO	Integridad de los datos (sin errores) y de respuesta delo	Aplicaciones de navegación Web de juegos de red.
NO CRÍTICO	Integridad de los datos, sin respuesta inmediata del usuario.	Correo electrónico, mensajes cortos.

Tabla 1. Clasificación de las clases de servicios del UMTS

2.2.2 Clasificación según la finalidad del servicio

Existe otra posibilidad de agrupar los servicios ofrecidos por el sistema UMTS, en esta clasificación, además de tener en cuenta la naturaleza del tráfico generado por cada servicio se destaca la velocidad requerida por cada servicio. En esta clasificación encontramos 6 tipos de servicios:

- Voz
- Mensajes
- Datos conmutados
- Multimedia a velocidad Media (MM)
- Multimedia de alta interactividad (HIMM)
- Multimedia de Alta velocidad (HMM)

El UMTS Fórum ha estimado el tráfico que cada uno de estos servicios generará dependiendo del área en la que nos movamos. Esta información nos ayudará a realizar una planificación de un sistema UMTS. Esta clasificación la volveremos a ver en detalle en el capítulo 4, puesto que nuestro modelo de planificación está basado en esta clasificación.

2.3 Evolución hacia la 3ª generación

En este punto se muestra una breve explicación de la evolución de los sistemas de telefonía móvil hacia la tercera generación.

2.3.1 Primera generación

- Los estándares de primera generación se caracterizaron por hacer uso de comunicaciones analógicas. Su aparición se produjo a finales de los años 70 y principio de los 80. Las características que los definen son:
- Uso de una modulación FM de banda estrecha, lo que las hacía muy robustas frente a ruido, interferencias y desvanecimientos.
- Acceso múltiplex por división en la frecuencia (FDMA).
- El duplexado se realizaba también por división en la frecuencia (FDD).
- El traspaso de llamadas entre estaciones base o hand-over era asistido por la red. Es decir, la decisión de realizar el hand-over la tomaban las estaciones base.
- Los principales estándares pertenecientes a esta generación son:
 - AMPS (Advanced Mobile Phone System): Es un sistema norteamericano.
 - NMT (Nordic Mobile Telephony): Generado por los países nórdicos.
 - E-TACS (Extended Total Access Communications System): es un sistema de comunicaciones para telefonía móvil celular dúplex en la banda de 900 MHz.

2.3.2 Segunda generación

Los estándares de la segunda generación introdujeron las comunicaciones digitales. Los sistemas se centraron en la mejora de la calidad de voz, la cobertura y la capacidad. Estos sistemas fueron diseñados para soportar servicios de voz y datos de baja velocidad.

Los cuatro sistemas más representativos de esta generación (que actualmente siguen desplegados y proporcionando servicio) son los siguientes:

- GSM (Global System for Mobile phone communications): Apareció en 1992 y fue el primer estándar digital disponible que permite roaming. Se basa en la transmisión de la información a través de conmutación de circuitos. La transmisión de datos a baja velocidad (menos de 9.6 kbps) se ha utilizado principalmente para la transmisión de mensajes cortos (Short Message Service-SMS).
- IS-95: Utiliza la tecnología de Acceso Múltiple por División en el Código de banda estrecha (Narrowband CDMA). Se utiliza en Norte América y Corea del Sur.
- TDMA IS-136: este sistema proviene del IS-54 y ha sido el estándar digital utilizado en parte de Norte América, América Latina, la parte asiática del Pacífico y la Europa de Este.
- PDC: Personal Digital Communications. Es el principal estándar digital funcionando en Japón.

2.3.3 Segunda generación mejorada

También llamada 2.5G, es una evolución de la anterior generación con el fin de aumentar la tasa binaria y la capacidad de los sistemas. La variación de tasas va desde 57.6 kbps hasta 171.2 kbps. La figura 1.2 muestra la evolución de los sistemas de comunicaciones móviles desde 2G. Los principales estándares aparecidos son:

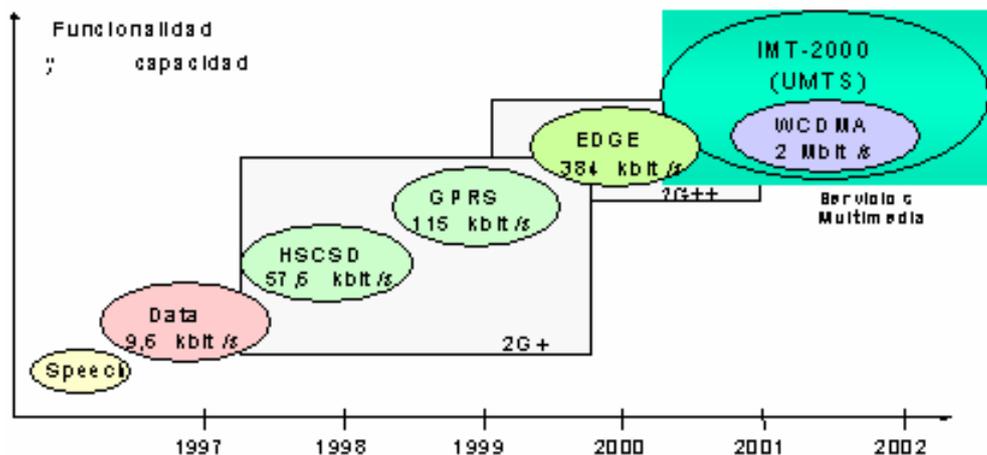


Figura 2. Evolución de los sistemas de comunicaciones móviles desde 2G

HSCSD (High-Speed Circuit Switched Data) es una evolución del actual servicio de transmisión de datos por conmutación de circuitos que permite obtener velocidades de transmisión superiores a los 9.6 Kbps a través del uso de múltiples time slots para generar un canal de tráfico de hasta 57.6 Kbps. Con esta tecnología, el número de time slots utilizado en cada instante por una comunicación de datos puede ser variable, dependiendo de la saturación de la célula en la que se encuentre conectado el móvil.

GPRS (General Packet Radio System) es el estándar del ETSI (European Telecommunications Standards Institute) que permite la transmisión de paquetes de datos sobre sistemas GSM. Teóricamente soporta tasas de hasta 171.2 kbps haciendo uso de los 8 canales simultáneamente. Esto supone aumentar 3 veces la velocidad de transmisión de las actuales redes fijas de telecomunicación, y hasta 10 veces la velocidad de los actuales servicios de conmutación de circuitos en redes GSM.

- EDGE (Enhanced Data rates for GSM Evolution) el sistema EDGE, también llamado GSM384, considerado en su momento como la puerta hacia las comunicaciones personales multimedia. Utiliza un esquema de modulación y codificación alternativo que alcanza transferencias de datos de hasta 384 Kbps, o sea 48 Kbps por slot (ya adecuada para soportar vídeo con calidad) sobre la portadora

estándar de 200 KHz propia de GSM, siendo comparable con las que promete UMTS.

Esta posibilidad permite seguir utilizando las redes GSM existentes (con una nueva interfaz radio) por mucho tiempo, lo que es un factor muy importante para los operadores que actualmente ofrecen servicios de comunicaciones móviles celulares vía radio, y para los fabricantes que están desarrollando terminales duales compatibles GSM y WCDMA.

2.3.4 Tercera generación

Los servicios de tercera generación proporcionarán diversas ventajas sobre los de las generaciones anteriores, entre las que se encuentran el acceso móvil a Internet a velocidades elevadas y servicios multimedia. Básicamente, combinan el acceso móvil de alta velocidad con los servicios basados en el protocolo IP. Esto no sólo conlleva una conexión rápida a Internet, sino también realizar transacciones bancarias a través del teléfono, hacer compras o consultar todo tipo de información.

La familia de sistemas móviles de tercera generación es denominada International Mobile Telecommunications 2000 (IMT-2000), cuyas especificaciones son responsabilidad de la ITU. IMT-2000 se presenta como una guía a seguir por los estándares de tercera generación para garantizar la compatibilidad mutua, además de sentar bases para desarrollos futuros. El acceso a las redes de tercera generación ha de garantizarse en todo momento, sea cual sea el lugar donde se encuentre el usuario. Por eso, se planteó como esencial la compatibilidad entre todos los distintos sistemas de tercera generación, definiendo entre todos los organismos una única familia que engloba todos los sistemas móviles terrestres y vía satélite.

Una vez se tuvo definida cuál debía ser la base IMT-2000, las distintas organizaciones de estandarización comenzaron a desarrollar el sistema que se utilizaría en cada zona geográfica. En Europa el sistema de tercera generación compatible con IMT-2000 se denomina UMTS (Universal Mobile Telecommunications System). La figura 3 muestra un esquema general de la evolución de los estándares de telefonía móvil hacia los sistemas de tercera generación.

La aparición de UMTS está dirigida a conseguir una transición suave desde las redes de

segunda generación actuales (GSM principalmente) hasta las redes de tercera generación. En los primeros momentos coexistirán ambos sistemas para que, añadiendo cada vez mayor funcionalidad a las redes UMTS, finalmente se proceda a sustituir las redes existentes.

Mientras que el sistema actual GSM y los terminales móviles no están preparados para la transmisión rápida de datos, la tercera generación UMTS permitirá la transmisión de información multimedia a una velocidad de hasta 2 Mbps. Además, permitirá estar conectado a la red de forma permanente sin tarificar más que cuando se utilice el terminal para realizar una operación.

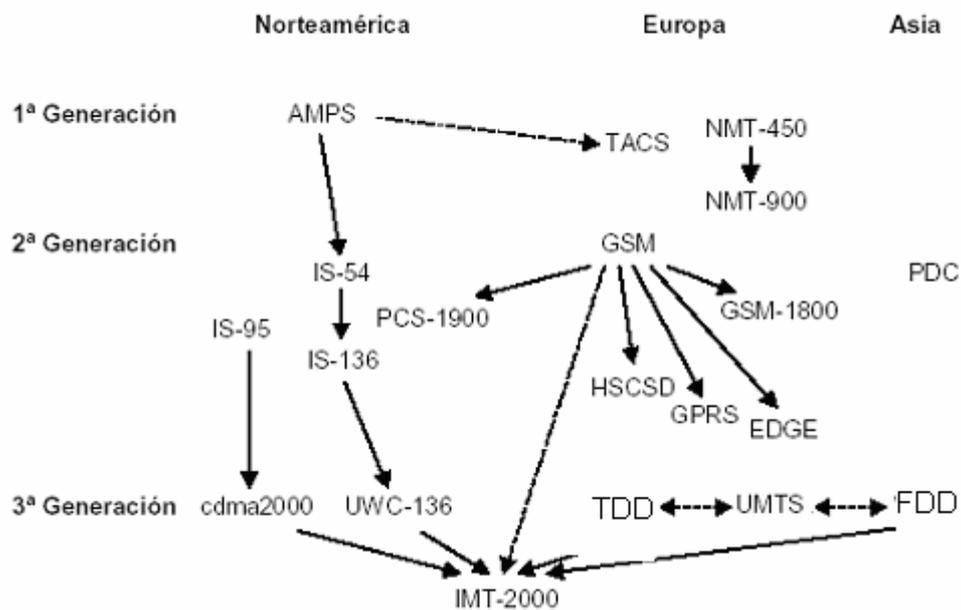


Figura 3. Evolución de los estándares de telefonía móvil hacia los sistemas de tercera generación.

UMTS evoluciona para integrar todos los servicios ofrecidos por las distintas tecnologías y redes actuales (GSM, DECT, ISDN, Internet, etc.) y se podrá utilizar con casi cualquier tipo de terminal: teléfono fijo, inalámbrico, celular, terminal multimedia, etc., tanto en ambientes profesionales como domésticos, ofreciendo una mayor calidad de los servicios y soportando la personalización por parte del usuario y los servicios multimedia móviles en tiempo real.

La principal característica de los sistemas UMTS son las altas tasas binarias a las que

tendrá acceso el usuario:

➤ 384 Kbps en conexiones de conmutación de circuitos

➤ Mbps en conexiones de conmutación de paquetes

Estas elevadas velocidades permiten la aparición de nuevos servicios, como el video-telefonía y un acceso mucho más rápido a Internet. Esto último precisa de una gestión efectiva de tráfico basado en TCP/UDP/IP sobre las redes UMTS.

Inicialmente, el tráfico de UMTS será fundamentalmente voz, y posteriormente se prevé que el porcentaje de tráfico de datos irá creciendo. Asimismo, aparecerá una transición de conexiones de conmutación de circuitos hacia conmutación de paquetes.

El reto que aparece en estos momentos es la fusión de dos tipos de servicio hasta ahora separados. Por un lado se tiene la portabilidad de los terminales móviles existentes, la cobertura del sistema y la gran base de usuarios, y por otro lado se encuentran las nuevas necesidades de comunicación, como el acceso a Internet y las aplicaciones multimedia. La unión de todo ello se ha denominado Mobile Internet.

En comparación con GSM y otras redes de telefonía móvil existentes, UMTS proporciona una importante característica: permite la negociación de las propiedades de una portadora radio, entre ellas el throughput, el retardo permitido y la BER (bit error rate). Para lograr el éxito, los sistemas UMTS deberán soportar una amplia variedad de aplicaciones con diferentes requisitos de calidad de servicio.

Actualmente no es posible determinar la naturaleza y el uso que se hará de dichas aplicaciones, por lo que no se podrán optimizar los sistemas para ellas. De esta forma, las portadoras de UMTS deberán concebirse de forma genérica, para permitir un soporte adecuado para aplicaciones existentes y facilitar la evolución de nuevas aplicaciones. Puesto que la mayoría de aplicaciones de telecomunicación actuales son aplicaciones de Internet o ISDN, parece evidente que estas aplicaciones determinarán el transporte de la información en las portadoras UMTS.

Entre los servicios ofrecidos por los sistemas de telefonía móvil 3G, destacarán aquellas aplicaciones que alcancen no sólo el ámbito de la comunicación, sino el mayor conjunto de actividades interactivas posibles. Además, merecen especial mención los servicios de localización, cuyo perfil depende del lugar en que se encuentre el terminal del usuario, personalizando así los servicios y permitiendo acceder a aquello que más se necesita en cada momento.

2.4 Arquitectura del sistema UMTS

La arquitectura de los sistemas de tercera generación de telefonía móvil no presenta grandes diferencias con la de los actuales sistemas GPRS. Por tanto, el despliegue conjunto de la red para UMTS con la red existente de los sistemas de segunda generación, posibilita el uso de las Core Networks de segunda generación en los sistemas de tercera generación. El esquema básico de la arquitectura UMTS es el siguiente:

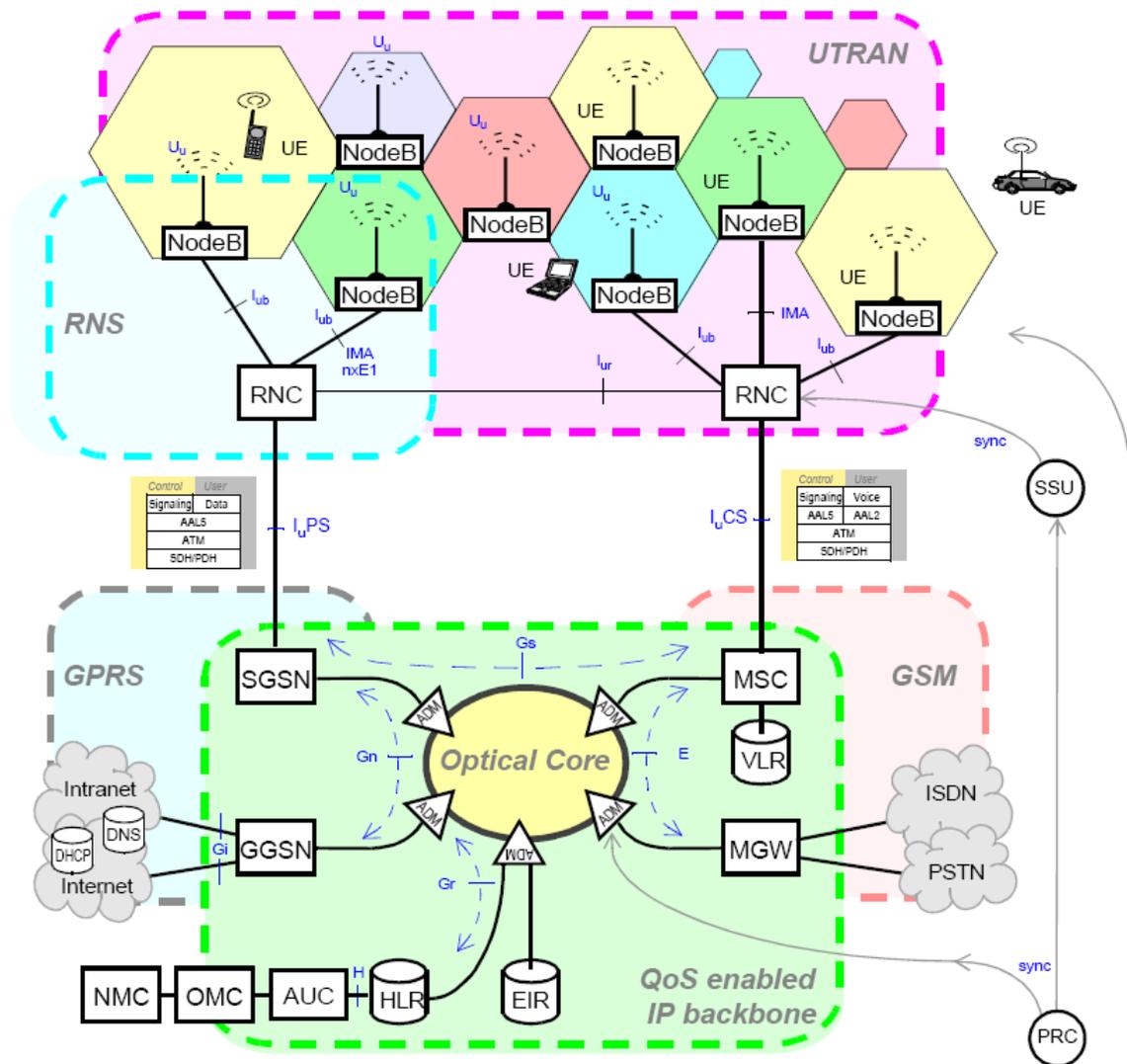


Figura 4. Arquitectura del sistema UMTS de alto nivel

Los elementos que forman el anterior esquema son los siguientes:

- Terminal de usuario (UE – User Equipment): es el conjunto de elementos que permiten que el usuario final pueda hacer uso del interfaz radio.
- UTRAN (UMTS Terrestrial Radio Access Network): se encarga de toda la funcionalidad radio del sistema.
- Red Troncal (CN – Core Network): parte fija de la red, que posibilita la interconexión de UTRANs y/o la conexión a redes externas.

➤ En la siguiente figura se observan los componentes, de los anteriores

elementos de red, así como los interfaces definidos por el 3GPP, que son los puntos de unión entre los diferentes elementos:

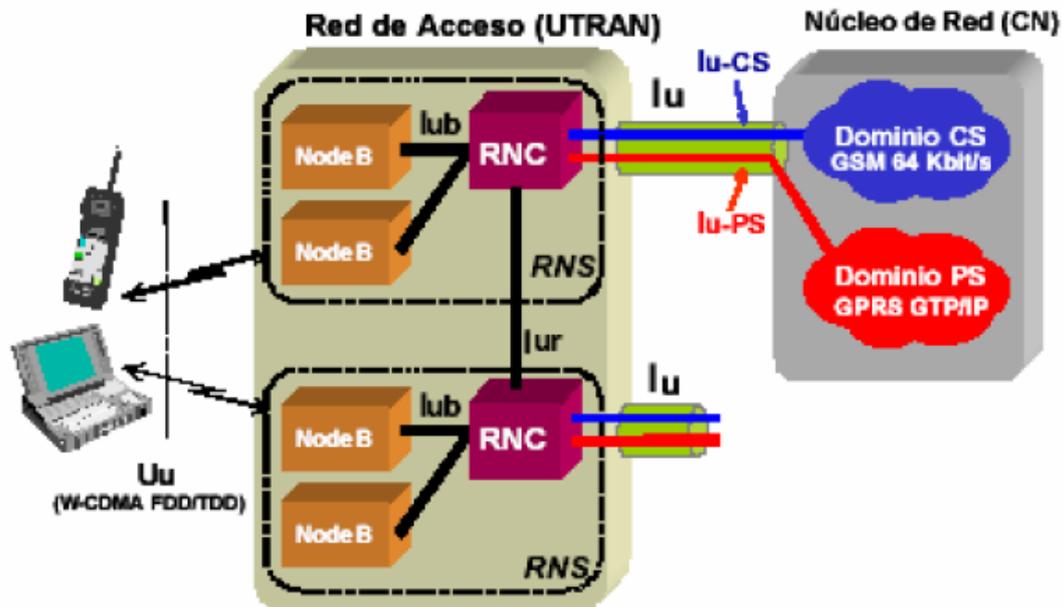


Figura 5. Elementos e interfaces de la red UMTS

2.4.1 Terminales móviles

El terminal de usuario (UE) consiste en dos partes:

Equipo móvil (ME): es el terminal radio que permite la radiocomunicación.

Módulo de identidad de Usuario UMTS (USIM – UMTS Subscriber Identity Module): Es la tarjeta que contiene información sobre la identidad del usuario, realiza las tareas de autenticación y guarda las claves necesarias para autenticación y encriptado.

2.4.2 Red de acceso radio (UTRAN)

En la UTRAN también consiste en dos bloques:

- **Nodo B:** participa en las tareas del control de los recursos radio y transforma el flujo de datos para que se entiendan los interfaces Iub y Uu. Este elemento es la típica estación base (BS) de los sistemas de segunda generación.

- Controlador de la Red Radio (RNC – Radio Network Controller): mantiene y controla todos los recursos radios de los Nodos B que se encuentran en su dominio. Es el equivalente al Controlador de Estaciones Base (BSC) en sistemas de segunda generación. Es el punto de acceso que la Core Network tiene hacia la UTRAN.

2.4.3 Núcleo de Red (Core Network)

El núcleo de red incorpora funciones de transporte y de inteligencia. Las funciones de transporte soportan el transporte de la información de tráfico y señalización, incluida la conmutación.

Las funciones de inteligencia incluyen prestaciones como el encaminamiento y la gestión de la movilidad. A través del núcleo de red, la red UMTS se conecta con otras redes de telecomunicación, de forma que resulte posible la comunicación no sólo entre usuarios móviles de UMTS, sino también con los que se encuentran conectados a otras redes.

En una primera fase de UMTS, el núcleo de red se configura en dos dominios: de conmutación de circuitos CS (Circuit Switch) y de paquetes PS (Packet Switch). A través del modo CS (como por ejemplo ISDN y PSTN) se encaminarán los tráficos de voz y datos en modo circuito, mientras que el PS (como por ejemplo Internet) haría lo propio con datos en modo paquete. En una futura configuración se evolucionaría a una solución “todo IP” en la que el modo paquete absorbería todo el tráfico, incluyendo la voz.

Los elementos del Núcleo de Red que aparecen en la figura 5 son los siguientes:

Registro de Localización en zona habitual (HLR – Home Location Register): Es una base de datos que guarda los perfiles de los usuarios que generalmente se encuentran en esa zona. También se encarga de almacenar la posición de sus usuarios (referenciando a una MSC, VLR o SGSN), cuando no se encuentran en la zona. Esto sirve para enrutar las llamadas hacia el terminal cuando no se encuentra en la zona propia.

Centro de Conmutación y Registro de Localización de Visitantes (MSC/VLR –Mobile Services Switching Center/Visitor Location Register): son el conmutador y la base de datos que sirven al usuario en una zona no habitual, para servicios de conmutación de circuitos. El VLR guarda una copia del perfil de usuario obtenida del HLR.

- GMSC (Gateway MSC): es el punto del conmutador donde la red se conecta a redes externas. Utilizado por servicios de conmutación de circuitos.
- SGSN (Serving GPRS Support Node): tiene una función muy parecida al MSC/VLR pero para servicios de conmutación de paquetes.
- GGSN (Gateway GPRS Support Node): tiene una función muy parecida al MSC pero para servicios de conmutación de paquetes.
- Todos estos elementos funcionales definidos en la red de acceso radio se comunican entre sí por una serie de interfaces:
- Interfaz Núcleo de Red – RNC (IU): Es el punto de conexión entre el subsistema de red radio (RNS) y el núcleo de red. Se estructura en tres componentes separadas, cada una destinada a un dominio concreto del núcleo de red:
- Iu-CS: Conmutación en modo circuito, por donde se encaminan las conexiones en este modo
- Iu-PS: Conmutación en modo paquete
- Iu-BC: Difusión Interfaz RNC – RNC (IUR): Es la interfaz existente entre dos RNC pertenecientes a la red de acceso UTRAN. Este enlace no existía en los sistemas 2G, y su implantación es opcional. Permite liberar al Núcleo de Red de las decisiones relativas a trasposos entre celdas adscritas a RNC diferentes. En esta interfaz se sitúa la gestión de la movilidad de las conexiones radio dentro de la red de acceso.
- Interfaz RNC - Nodo B (IUB): Es la interfaz entre un Nodo B y su RNC. El RNC puede indicar al Nodo B mediante este enlace que establezca libere los enlaces radio en el área de cobertura del grupo de celdas que el nodo controla.
- Interfaz radio (UU): Esta interfaz supone la verdadera revolución de

UMTS, ya que en el tramo radioeléctrico se opta por una técnica de acceso múltiple DS-DMA, frente a la TDMA utilizada en 2G.

2.5 Conceptos teóricos del acceso radio UMTS

En este punto, se explica las diferentes tipos de técnicas de acceso al medio, técnicas de duplexado y técnica de ensanchamiento estandarizadas en UMTS.

2.5.1 Técnicas de acceso radio

Uno de los puntos más importantes en un sistema móvil, como la telefonía celular, es la forma en cómo se accede al medio de comunicación. A estas técnicas se les conoce como "acceso múltiple". Es decir, una gran cantidad de suscriptores en un servicio móvil comparten un conjunto de canales de radio y cualquier usuario puede competir para acceder cualquiera de los canales disponibles. Un canal puede ser visto como una porción del espectro radioeléctrico, el cual es asignado temporalmente para un propósito específico, tal como una llamada telefónica.

Una técnica de acceso múltiple define cómo se divide el espectro de frecuencias en canales y cómo los canales son asignados a los múltiples usuarios en el sistema. Visto de otra manera, el seleccionar una técnica eficiente de acceso múltiple significa que los operadores telefónicos obtendrán más ganancias al acomodar más usuarios en sus redes móviles.

Las técnicas de acceso múltiple son utilizadas en el ambiente de las comunicaciones para que varios dispositivos, como por ejemplo: computadoras, teléfonos, radios, etc. puedan acceder al medio o canal de comunicación de manera ordenada. Las técnicas de acceso múltiple nos permiten compartir un mismo canal de comunicación para varios usuarios.

Existen tres tipos básicos de técnicas de acceso, que son los siguientes:

FDMA (Frequency Division Multiple Access)

TDMA (Time Division Multiple Access)

CDMA (Code Division Multiple Access)

2.5.1.1. CDMA

Consiste en asignar todo el espectro durante todo el tiempo a cada usuario, diferenciado del resto mediante la utilización de secuencias de códigos ortogonales entre sí, el cual se usa para codificar la señal de información que se desea transmitir.

El receptor, conociendo la secuencia de código del usuario, decodifica la señal recibida y regenera los datos originales.

En los sistemas móviles celulares esta técnica de acceso proporciona importantes ventajas, respecto a las técnicas clásicas FDMA o TDMA, en cuanto a capacidad y calidad, derivadas de la mejor adaptación de las señales de espectro ensanchado a este tipo de entornos.

El uso de este tipo de técnicas de acceso al medio por división de códigos resulta especialmente interesante debido a la mayor eficiencia espectral que aportan frente a otro tipo de técnicas de acceso. Esta mejora es debida a los siguientes factores:

CDMA se aproxima a las condiciones ideales que, según el Teorema de Shannon permiten optimizar la capacidad de los canales.

- Las técnicas CDMA permiten aprovechar las pausas en la comunicación de la voz y los datos, de forma que se puede mejorar la eficiencia limitando la potencia transmitida en estos periodos de pausa para que pueda ser aprovechada por otros usuarios, ya que CDMA reparte potencia entre ellos, en lugar de espectro o tiempo, como hacen FDMA y TDMA respectivamente. Con la técnica CDMA se puede usar un receptor específico conocido como RAKE, mediante el uso de este receptor, un móvil basado en CDMA puede estar conectado simultáneamente a dos o más estaciones base, lo que proporciona una ganancia adicional por diversidad, denominada macro diversidad.
- Tecnológicamente el diseño de receptores CDMA con mejor eficiencia espectral es más sencillo que el diseño de receptores TDMA. Esta es una de las razones más importantes por las que se propone el uso de CDMA en la interfaz radio de los sistemas 3G. Sin embargo, CDMA tiene también algunos inconvenientes que no aparecen en otras técnicas de acceso, entre los que destaca la

necesidad de utilizar un control de potencia muy estricto. Esta necesidad de control de potencia implica la transmisión de un exceso de información que reduce la capacidad útil disponible.

2.5.1.1.1. Funcionamiento

CDMA se basa en la separación del espectro, que en los medios de la transmisión digital es cuando la señal ocupa una banda de frecuencia que sea considerablemente más amplia que el mínimo requerido para la transmisión de datos por otras técnicas.

Los usuarios comparten la misma banda de frecuencia y cada señal es identificada por un código especial, que actúa como una clave reconocida por el transmisor y el receptor. La señal recibida es la suma de todas las señales "combinadas", y cada receptor debe clasificar e identificar las señales que le corresponden de las demás señales. Para hacer esto utiliza un código que corresponde con el código transmitido.

La primera operación implica encontrar del código correcto, y así sincronizar el código local con el código entrante. Una vez ha ocurrido la sincronización, la correlación del código local y del código entrante permite a la información apropiada ser extraída y las otras señales ser rechazadas.

También permite que dos señales idénticas que vienen de diversas fuentes, sean demoduladas y combinadas, de modo tal que se mejore la calidad de la conexión, por lo que es también una ventaja el uso simultáneo de varios satélites (diversidad). Igualmente, una de las principales características de la tecnología CDMA es que hace prácticamente imposible que sea objeto de interferencias e interceptaciones, ofreciendo gran seguridad en las comunicaciones.

2.5.1.1.2. Capacidad

La capacidad de un sistema se refiere a la cantidad de usuarios que pueden compartir simultáneamente el recurso físico del que se dispone (ancho de banda) manteniendo un nivel de calidad adecuado. En el caso de una comunicación que utiliza el esquema de acceso múltiple CDMA, se tiene que la interferencia en la comunicación proviene de dos fuentes diferentes: Una interna y una externa. La interferencia externa proviene de las

células que son vecinas y que están utilizando las mismas frecuencias. La interferencia interna proviene de las transmisiones que realizan los demás usuarios y que se están haciendo por el mismo canal, al mismo tiempo, con códigos diferentes.

A diferencia de los esquemas FDMA y TDMA que tienen una capacidad limitada, en el CDMA la capacidad está limitada únicamente por la calidad de la comunicación que se desee prestar. Como todos los usuarios comparten la misma frecuencia al mismo tiempo, lo que ocurre es que al adicionar usuarios nuevos se produce más interferencia.

Si los equipos transmisores detectan períodos de silencio y durante estos disminuyen la transmisión o simplemente no transmiten, se disminuye la interferencia interna del orden del 60% al 65%. CDMA es la única tecnología que saca provecho de este fenómeno. En cuanto a la gestión de potencia hay que hacerla en ambos sentidos. Se debe regular la potencia que se está transmitiendo de la base al móvil para tratar de disminuir la interferencia externa. Igualmente, hay que regular la potencia que se está transmitiendo del móvil a la base.

2.5.1.1.3. CDMA2000 y 3G

Porque CDMA2000 se desarrolla directamente de la generación anterior de los sistemas probados de CDMA, proporciona el más rápido, el más fácil, la mayoría de la trayectoria rentable a los servicios 3G. Mientras que todas las tecnologías 3G (CDMA2000, WCDMA y TD-SCDMA) pueden ser viables, CDMA2000 es mucho más futuro a continuación en términos del desarrollo de producto, del despliegue comercial y de la aceptación en el mercado.

Las primeras redes comerciales CDMA2000 fueron lanzadas en Corea del sur a principios de 2001, y están proporcionando ya servicio sobre un millón suscriptores que pagaban (en fecha septiembre de 2001), con números mucho más grandes esperados en finales de 2001 y 2002. Una gama grande y cada vez mayor de los chipsets CDMA2000, de los micro teléfonos y de los sistemas de la infraestructura de la red ahora está en la producción de volumen y ganando economías de escala, tantos portadores americanos y japoneses más norteamericanos, más latinos planean rodar fuera de los servicios CDMA2000 en 2002.

Estructuras CDMA2000 en una base instalada sobre de 100 millones de usuarios del cdmaOne, de inversiones anteriores leveraging y de la maestría a nivel industrial en micro

teléfonos del cdmaOne que se convierten. Otras tecnologías 3G, que son radicalmente diferentes de las generaciones anteriores, pueden implicar componentes muy costosos y complejos, nuevos diseños de red y la prueba y períodos largos del despliegue. QUALCOMM cree que el funcionamiento y la rentabilidad probados de CDMA2000 es la mejor opción para los sistemas de la radio 3G. Al mismo tiempo, la compañía está apoyando la industria con otras soluciones para WCDMA y los sistemas con varios modos de funcionamiento que tiendan un puente sobre los boquetes entre las varias redes 2G, 2.5G y 3G.

CAPÍTULO 3

3.1. Medios de Transmisión

3.1.1. Concepto

El medio de transmisión constituye el canal que permite la transmisión de información entre dos terminales en un sistema de transmisión.

Las transmisiones se realizan habitualmente empleando ondas electromagnéticas que se propagan a través del canal.

A veces el canal es un medio físico y otras veces no, ya que las ondas electromagnéticas son susceptibles de ser transmitidas por el vacío.

3.1.2. Características

Entre las características más importantes dentro de los medios de transmisión se encuentra la velocidad de transmisión, la distorsión que introduce en el mensaje, y el ancho de banda.

3.1.3. Clasificación

Dependiendo de la forma de conducir la señal a través del medio, los medios de transmisión se pueden clasificar en dos grandes grupos, medios de transmisión guiados y medios de transmisión no guiados.

Según el sentido de la transmisión podemos encontrarnos con 3 tipos diferentes: Simplex, Half-Duplex y Full-Duplex.

También los medios de transmisión se caracterizan por utilizarse en rangos de frecuencia de trabajo diferentes.

3.1.5. Medios de transmisión no guiados

Los medios de transmisión no guiados son los que no confinan las señales mediante ningún tipo de cable, sino que las señales se propagan libremente a través del medio. Entre los medios más importantes se encuentran el aire y el vacío.

Tanto la transmisión como la recepción de información se llevan a cabo mediante antenas. A la hora de transmitir, la antena irradia energía electromagnética en el medio. Por el contrario en la recepción la antena capta las ondas electromagnéticas del medio que la rodea.

La configuración para las transmisiones no guiadas puede ser direccional y omnidireccional.

En la direccional, la antena transmisora emite la energía electromagnética concentrándola en un haz, por lo que las antenas emisora y receptora deben estar alineadas.

En la omnidireccional, la radiación se hace de manera dispersa, emitiendo en todas direcciones pudiendo la señal ser recibida por varias antenas. Generalmente, cuanto mayor es la frecuencia de la señal transmitida es más factible confinar la energía en un haz direccional.

La transmisión de datos a través de medios no guiados, añade problemas adicionales provocados por la reflexión que sufre la señal en los distintos obstáculos existentes en el medio. Resultando más importante el espectro de frecuencias de la señal transmitida que el propio medio de transmisión en sí mismo.

Según el rango de frecuencias de trabajo, las transmisiones no guiadas se pueden clasificar en tres tipos: radio, microondas y luz (infrarrojos/láser).

Banda de Frecuencia	Nombre	Modulación	Razón de Datos	Aplicaciones Principales
30-300 kHz	LF (low frequency)	ASK, FSK, MSK	0,1-100 bps	Navegación
300-3000 kHz	MF (medium frequency)	ASK, FSK, MSK	10-1000 bps	Radio AM Comercial
3-30 MHz	HF (high frequency)	ASK, FSK, MSK	10-3000 bps	Radio de onda corta
30-300 MHz	VHF (very high frequency)	FSK, PSK	Hasta 100 kbps	Television VHF, Radio FM
300-3000 MHz	UHF (ultra high frequency)	PSK	Hasta 10 Mbps	Television UHF, Microondas Terrestres
3-30 GHz	SHF (super high frequency)	PSK	Hasta 100Mbps	Microondas terrestres y por satélite
30-300 GHz	EHF (extremely high frequency)	PSK	Hasta 750 Mbps	Enlaces cercanos con punto a punto experimentales

Tabla 2. Clasificación de Banda de frecuencias

3.2. Microondas

Se denomina microondas a las ondas electromagnéticas definidas en un rango de frecuencias determinado; generalmente de entre 300 MHz y 300 GHz, que supone un período de oscilación de 3 ns (3×10^{-9} s) a 3 ps (3×10^{-12} s) y una longitud de onda en el rango de 1 m a 1 mm. Otras definiciones, por ejemplo las de los estándares IEC 60050 y IEEE 100 sitúan su rango de frecuencias entre 1 GHz y 300 GHz, es decir, longitudes de onda de entre 1 cm a 100 micrómetros.

El rango de las microondas está incluido en las bandas de radiofrecuencia, concretamente en las UHF (ultra-high frequency, frecuencia ultra alta en español) (0.3 – 3 GHz), SHF (super-high frequency, frecuencia super alta) (3 – 30 GHz) y EHF (extremely high frequency, frecuencia extremadamente alta) (30 – 300 GHz). Otras bandas de radiofrecuencia incluyen ondas de menor frecuencia y mayor longitud de onda que las microondas. Las microondas de mayor frecuencia y menor longitud de onda —en el orden de milímetros— se denominan ondas milimétricas, radiación terahercio o rayos T.

La existencia de ondas electromagnéticas, de las cuales las microondas forman parte del espectro de alta frecuencia, fueron predichas por Maxwell en 1864 a partir de sus famosas Ecuaciones de Maxwell. En 1888, Heinrich Rudolf Hertz fue el primero en demostrar la

existencia de ondas electromagnéticas mediante la construcción de un aparato para producir ondas de radio.

3.2.1. Radio enlace

Un radió enlace terrestre o microondas terrestre provee conectividad entre dos sitios (estaciones terrenas) en línea de vista (Line-of-Sight, LOS) usando equipo de radio con frecuencias de portadora por encima de 1 GHz. La forma de onda emitida puede ser analógica (convencionalmente en FM) o digital.

Las microondas son ondas electromagnéticas cuyas frecuencias se encuentran dentro del espectro de las super altas frecuencias, SHF.



Figura 6. Diagrama de un enlace microonda

3.2.3 Radio enlace Utilizado

El radió enlace utilizado es el enlace Riobamba – Quimiag que está compuesto por un radio de Microondas Siemens este enlace es PDH con capacidad de 16 E1 ancho de banda de 28 MHz.

Este radio está compuesto por los siguientes elementos y equipos:

Antena: Es la encargada de enfocar la señal de RF enviada por la Odu incrementa la ganancia de la señal

ODU: Es la encargada del procesamiento de la señal RF, conversión entre la señal IF y RF una Odu puede operar en una banda de frecuencia o parte de una banda de frecuencia, da la potencia al puerto de salida del transmisor.

El rango de potencia típico es desde 15 a 30 dBm

Cable IF: transmisión para señal de servicios en IF señal de administración y energía a la Odu.

IDU: Acceso de servicios como E1 o STM1, distribución, multiplexación, Modem entre otros, realiza conversión entre banda base e IF

3.2.4 Radio enlaces Fijos Terrestres

Digresión Histórica

Marconi-1901 emitió ondas de radio desde Inglaterra a Terranova con código Morse. La primera transmisión de radio se realizó en Massachusetts en 1906 mediante la modulación de amplitud AM inventada por Fessenden. En el mismo año se inventó el triodo lo que permitió realizar amplificadores por primera vez. Armstrong-1916 inventó el receptor superheterodino (con pasaje mediante una frecuencia intermedia y amplificación) y en 1939 la modulación de frecuencia FM (preferible debido a que las tormentas y equipos eléctricos producen ruido modulado en amplitud).

En 1927 se realizó el primer servicio de radio entre USA e Inglaterra en las frecuencias de 50 a 60 KHz.

En 1929 se inauguró el servicio multicanal entre Argentina e Inglaterra en las frecuencias de 10 a 20 MHz. En 1932 comienzan los primeros radió enlaces con multiplexación por división de frecuencia FDM. En 1947 se inaugura el enlace entre New York y Boston con 480 canales FDM en la banda de 4 GHz con 7 saltos radioeléctricos. En 1959 comienza el uso de la banda de 6 GHz con 1860 canales. El primer radió enlace con multiplexación por división de tiempo TDM ocurre en 1965 trabajando a 1,5 Mb/s.

Hacia 1969 el enlace Pittsburgh-Chicago lleva 3x6, 3 Mb/s. Durante la década de los años '70 se desarrollan los enlaces desde 2 a 34 Mb/s (primera generación de enlaces de radio digital).

En 1980 se instalan los primeros enlaces de 140 Mb/s con modulación 16QAM. A mediados de la década se instalan los enlaces de 140 Mb/s-64QAM (segunda generación). En 1994 se instala en el Cerro Esperanza a 4902 mts de altura la estación de radió enlace más alta del mundo (34 Mb/s-4PSK). Es parte del enlace desde Jujuy-La Quiaca (en Argentina). Los enlaces para la red sincrónica SDH comienzan a partir de 1993 (tercera generación) y han sufrido sucesivos up-grade de hardware y software para adaptarlos a las nuevas necesidades de empresas en el mercado

La red de transmisión de alta capacidad de Antel en Uruguay se construyó solo mediante radió enlaces de tipo STM-1 hasta 1996, a partir de esta fecha se inició la red troncal de fibra óptica STM-4. En Argentina las empresas Telefónica y Telecom instalaron desde 1993 redes troncales de fibra ópticas y los enlaces de radio son derivaciones laterales. Otras empresas, iniciadas con la apertura del mercado en 1998, como ser CTI diseñó su red en base un redes troncales STM-1 vía radió enlace aprovechando la infraestructura de telefonía celular disponible.

Este Capítulo describe los equipos para enlaces de radio PDH y SDH.

Enlaces de radio SDH y el proyecto de ingeniería de los mismos.

3.2.5- Banda Base Digital

En este trabajo se hace referencia a los equipos para redes de micro-ondas desde un punto de vista genérico abarcando las 3 etapas reconocidas: Banda-Base, Frecuencia Intermedia y Radio Frecuencia

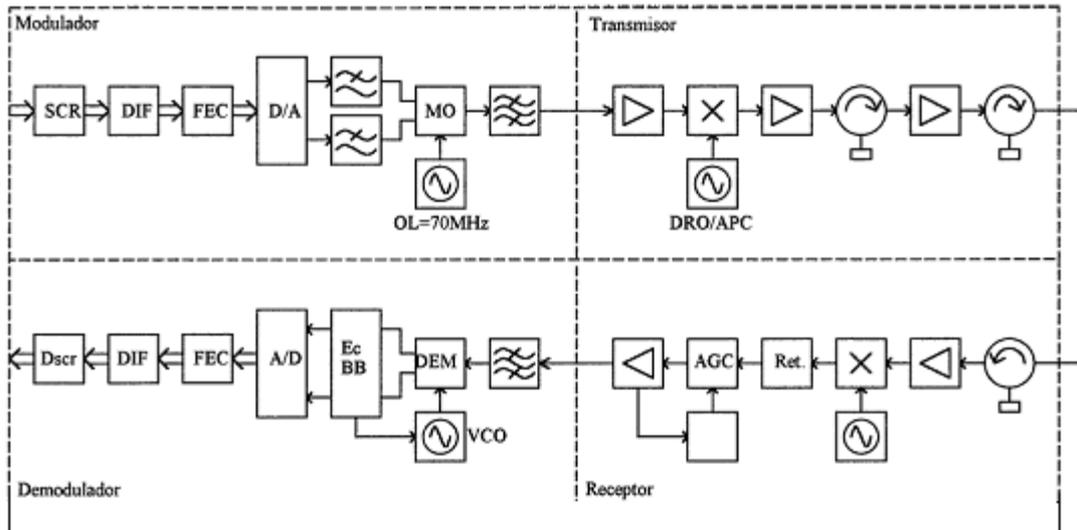


Figura 7. Diagrama de bloques de un radio enlace típico

Funciones:

Las funciones de la etapa de banda-base son:

Formación de una trama de datos.

Permite efectuar el alineamiento de trama;

Ofrece suficiente capacidad de tráfico adicional para canales de servicio para hablar EOW (Orderwire).

Transporta canales de datos para supervisión y gestión;

Adiciona bits de paridad para el control de errores y emisión de alarmas.

Permitir la protección del tipo N+1.

Esta operación se realiza mediante la conmutación hit-less entre dos señales de recepción. Los comandos de conmutación son seleccionados en base a las alarmas de tasa de error BER.

La Temporización de un equipo de radio es en forma independiente a la red (Free Running) para sistemas PDH.

En sistema SDH el sincronismo se toma desde la red.

PROTECCIÓN MEDIANTE CONMUTACIÓN. La conmutación de canales con la misma banda base digital se requiere como mecanismo de protección para contrarrestar las fallas de equipos y la mala propagación. Existen 2 grandes tipos de mecanismos de conmutación:

En una conexión de radió enlaces hot standby se transmite una sola frecuencia, por lo tanto existe una conmutación de transmisores a nivel de radiofrecuencia. En recepción se tiene una conmutación en banda base con un circuito separador para los dos receptores en radiofrecuencia. La conmutación es efectuada en base a una lógica de alarmas del equipo de recepción, que toma en cuenta entre otras la alarma de tasa de error BER.

En una conexión de diversidad de frecuencia o de espacio se transmiten dos frecuencias o caminos distintos desde el transmisor y la conmutación se realiza en la banda base de recepción. Como las frecuencias sufren distinto retardo en el vínculo, la relación de fase entre los bits antes de la conmutación es variable y por ello se requiere de un circuito desfasador, también variable, que ponga en fase los dos trenes de datos antes de la conmutación. El tipo de conmutación que pone en fase los trenes de datos previamente a la operación de conmutar se denomina hitless (sin deslizamientos). De esta forma, se asegura la conmutación en el mismo bit y se elimina el deslizamiento (slip), consistente en la eliminación o la repetición de bits. En los sistemas por cable de fibra óptica la conmutación también puede haber hitless aunque, como no hay un retardo variable, bien puede usarse la conmutación directa cuidando de compensar el retardo estático producto de las distintas longitudes de los conductores.

Temporización. La estrategia de sincronización de los equipos permite ser configurada mediante la entrada tributarias; el sincronismo externo de 2048 Khz. o sincronismo desde demodulador. Este último caso es una variante del sincronismo en loop. La prioridad entre las distintas fuentes de sincronismo se programa mediante software (interfaz F o Q de la TMN). Cada equipo selecciona en forma automática la fuente de sincronismo en caso de falla.

En caso de falla de las distintas fuentes de entrada se pasa al modo Hold-Over (memorización del último estado del control de frecuencia del VCO, con estabilidad $\pm 4,6$ ppm por 24 horas). En caso de pérdida del estado hold-over se pasa al modo Free-Running (reloj interno del cristal con estabilidad de ± 15 ppm). Los casos hold-over y free-running corresponden a variantes de sincronismo interno. En general los equipos de radio enlace son dependientes del reloj del multiplexor. En enlace de radio es entonces transparente al sincronismo.

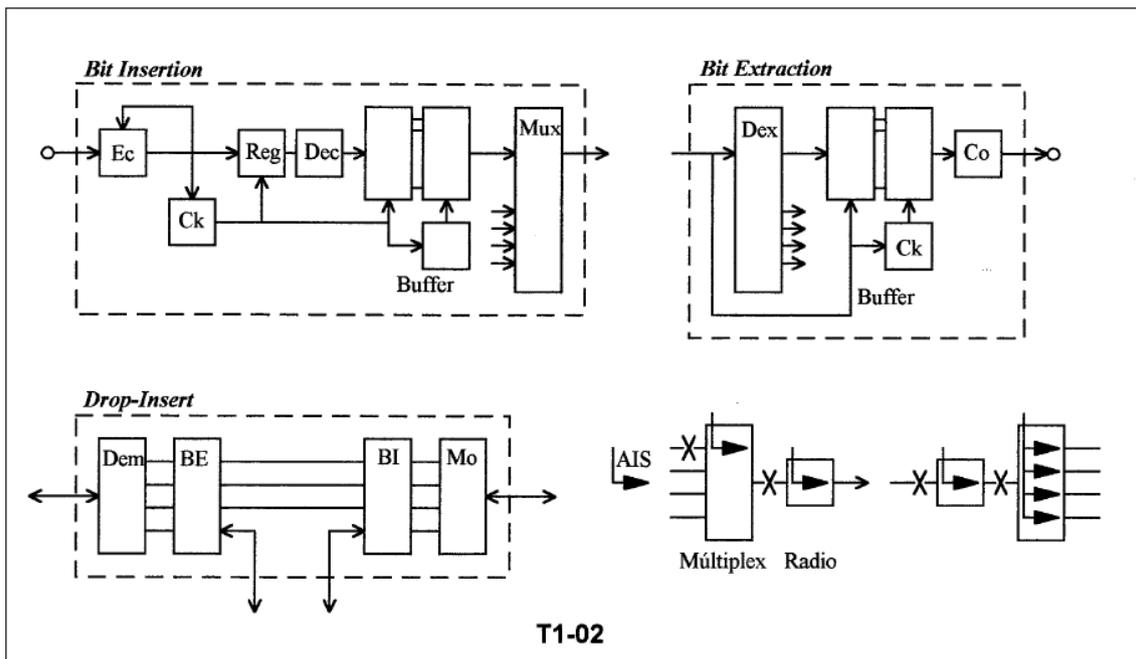


Figura 8. Etapa de banda base de un radio enlace PDH.

Canales de Servicio y Supervisión

Sobre el enlace de radio se incluyen canales de servicio que se disponen en las distintas estaciones repetidoras y terminales.

Las funciones son múltiples pero dos son las generalmente aplicadas:

Canales de servicio para hablar (Orderwire);

Canal de datos para telesupervisión.

Por el primero transitan señales (32 kb/s con codificación ADPCM o Delta o de 64 kb/s con codificación PCM) con información telefónica digitalizada. Es utilizada por el personal de Operación y Mantenimiento para hablar entre estaciones. Se trata de canales tipo ómnibus o expreso. El canal ómnibus se dispone en todas las estaciones

radioeléctricas y el expreso solo en las terminales. Normalmente la llamada es colectiva (llamado simultáneo en todas las estaciones conectadas) o selectiva (un número diverso para cada estación de radio).

Por el canal de datos transita un protocolo de comunicación particular de cada sistema de telesupervisión. En el mismo se pueden transportar el estado de alarmas de estaciones intermedias, la acción de controles a distancia y las medidas de valores analógicos o de tasa de error BER. Este canal de datos funciona como nivel de conexión física entre estaciones para una suite de protocolos de comunicación. Hasta los años `90 los protocolos eran propietarios y debían soportar sistemas de telesupervisión muy variados. En la década de los años `90 los sistemas de supervisión se normalizaron mediante dos vías: los protocolos TCP/IP y los ISO. En el segundo caso se forma la denominada red de gestión TMN. En un capítulo por separado se estudian dos estados de sistemas de gestión el usado en equipos PDH (década de los años `80) y en SDH (en la década de los años `90).

En la red plesiócrona PDH no existe una normalización en cuanto a la forma de efectuar las operaciones de trama para la banda base del radio enlace. En cambio en la red sincrónica SDH se ha normalizado la trama STM-1 que contempla estas necesidades. Históricamente se han ensayado dos formas de ingresar los servicios al sistema:

- 1.-Canales integrados a la trama de datos digitales
- 2.-Canales separados de la trama de datos principal.

El primer caso es el más interesante y ha perdurado en el tiempo. Es usado en sistemas de todas las capacidades (se entiende por capacidad la cantidad de canales tributarios de 2 Mb/s que acceden a la banda base). En particular tiene la ventaja de no requerir un canal auxiliar externo. Mientras que el segundo tiene la ventaja de no sufrir los mismos problemas (por ejemplo de propagación) que el canal principal.

Los canales de servicio integrados a la banda-base hacen uso de la operación BI (Bit-Insertion) y BE (Bit-Extraction).

Permite además la operación Add-Drop (conocida con anterioridad como Drop-Insert) en una estación intermedia.

En el caso de usar la misma portadora radioeléctrica para transmitir el canal principal y el auxiliar se recurre a una modulación de frecuencia o fase para el auxiliar. Se trata de una señal denominada Sub-Banda Base SBB. Esta SBB puede disponer de un ancho de banda reducido a algunos Khz. La particularidad es que el espectro ocupado por el canal SBB es pequeño respecto del ocupado por el canal principal lo cual evita que la interferencia entre ambos sea fatal para la calidad de la señal de alguno de ellos. Este sistema solo se usa en enlaces de baja o media capacidad (hasta 16x2 Mb/s).

En el caso de usar otra portadora se puede recurrir a un sistema denominado wayside (también conocido como piggy-back) que consiste en modular el canal auxiliar en forma paralela (por ejemplo una señal de 2 Mb/s con modulación 4PSK) y emitirlo por encima del espectro del canal principal. Por ejemplo, se coloca el canal de 2 Mb/s-4PSK con una portadora en $70+29$ MHz en un sistema principal de 140 Mb/s-16QAM cuya banda ocupa $70\pm 26,5$ MHz. Un canal auxiliar wayside de 2 Mb/s es factible de ser colocado en la banda base digital de los equipos PDH o en la Tara de Sección SOH de los equipos.

3.2.6 Operación Bi/Be y D/I

BIT INSERTION. A continuación se analiza en detalle el método por el cual los canales auxiliares se ingresan en la misma trama de datos a transmitir. Este método se denomina BI/BE (Bit Insertion y Bit Extraction) y permite la operación Add- Drop o Drop-Insert en las estaciones intermedias. Este análisis es válido para sistemas de baja y media capacidad del tipo PDH hasta 16x2 Mb/s. Existen algunas diferencias en el caso de equipos SDH del tipo STM-1 o sub STM-1 que son analizadas por separado.

Para comenzar, se muestra un diagrama genérico de las operaciones BI, BE y de la operación A/D. La señal principal y las distintas señales auxiliares de servicio ingresan a un multiplexor donde se intercalan datos para obtener la trama de la banda-base. El canal principal (Tributario) lo hace en código HDB3 o CMI (de acuerdo con la velocidad de entrada) y por lo tanto accede a través de un circuito de entrada.

En el circuito de entrada se disponen las siguientes operaciones:

- Ecualizador de línea coaxial que permite corregir la atenuación producida por el cable de interfaz entre equipos. Este ecualizador es adaptativo debido a que la longitud del cable es desconocida. Tiene una función f con un máximo de ecualización de 6 dB a 1 MHz en el caso de entrada a 2 Mb/s.
- Extracción de reloj CK. Se obtiene mediante un filtrado de la armónica del reloj desde el espectro del código HDB3 o CMI, esto permite sintonizar un oscilador VCO que sigue las variaciones del jitter de la señal de entrada.
- Regenerador de la señal de entrada y conversión de código. Mediante el auxilio del reloj CK la señal de entrada se regenera en el centro del pulso. El conversor de código HDB3/CMI a NRZ permite obtener el código binario para trabajar en los circuitos lógicos que se encuentran a continuación.
- Alarma de la señal de entrada. Puede indicar la ausencia de datos a la entrada (valor de tensión inferior a un umbral de detección aceptable) o la recepción de señal de indicación de alarma AIS (Alarm Indication Signal consistente en una secuencia 111...11). Cuando no existe señal de entrada la secuencia de datos se rellena mediante la señal de AIS. Esta señal AIS indica a los equipos subsiguientes la presencia de una anomalía pero no se puede conocer el origen. Los datos regenerados son incluidos en una memoria elástica o Buffer. El reloj de escritura CK-E en la memoria es extraído desde el código de entrada. El reloj de lectura CK-L es generado localmente por multiplicación desde CK-E o en forma plesiócrona (reloj independiente). En el segundo caso se requiere de un proceso de justificación en la trama digital de banda-base similar al usado en los multiplexores digitales.

Para efectuar el proceso de multiplexación (trama BI) se requiere de memorias elásticas (buffer de datos) para permitir reducir las fluctuaciones de fase (Jitter y Wander) de entrada y entregar los datos en forma no-periódica. La memoria elástica tiene una alarma overflow-underflow cuando los relojes de escritura y lectura se superponen sobre el

mismo flip-flop. Los datos de salida desde la memoria de lectura tienen una frecuencia en Khz. igual a la suma del canal principal y todas las señales de servicio.

La Trama digital de datos de la BI contiene en general dos tipos de información: el encabezamiento y la carga útil. La trama se puede representar por una matriz de datos, dividida en sub-tramas, con espacio para ambos tipos de información. Sus funciones son:

El encabezamiento. Comprende la palabra de sincronismo de trama y de ser necesario multitrama, los bits de paridad para control de tasa de error y eventualmente para la corrección de errores, los bit de alarma local (errores o sincronismo) para el terminal remoto; canales de frecuencia vocal de servicio en conexión ómnibus o expreso, canales de datos para el sistema de supervisión, canal de comunicación para el sistema de conmutación automática.

La carga útil. Comprende el o los canales tributarios de entrada multiplexados. El sistema de enlace puede estar configurado como 1+0 (sin protección) o con conmutación automática. En el caso de la configuración con protección, la misma puede ser del tipo 1+1 o N+1.

La etapa de banda-base es independiente del medio de transmisión usado; existe cierta compatibilidad entre sistemas para fibra óptica y radió enlace. En el sistema SDH las distintas operaciones (control de errores, aleatorización, trama digital) se encuentran normalizadas y por lo tanto la compatibilidad es absoluta; no ocurre lo mismo en los sistemas PDH.

BIT-EXTRACTION. La etapa BE (bit-extraction) muestra la operación complementaria a la BI. La señal de datos NRZ y reloj CK llega desde el demodulador y se procesa en el demultiplexor. Un circuito lógico se sincroniza con la palabra de alineamiento de la trama FR (Frame). Este circuito emite la alarma de falta de alineamiento de trama LOF (Loss Of Frame) cuando se detecta con diferencias un cierto número de FR y se desactiva cuando se la lee en forma correcta varias veces (generalmente se trata de 4 y 3 veces en cada caso).

Con los bits de paridad de la trama se obtienen alarmas con umbrales de 10^{-3} y 10^{-6} .

Es necesario eliminar la fuerte fluctuación de fase de la señal de salida del demultiplexor mediante una memoria elástica de manera tal que a la salida se dispone de la señal con un reloj periódico. La memoria elástica entonces posee un reloj para la lectura que se obtiene desde un VCO en un circuito PLL. La tensión de control del VCO es el valor promedio (a través de un filtro pasabajos) del reloj de escritura. El reloj de escritura se obtiene de la cadencia de la trama.

Cuando existe alarma de falta de alineamiento de trama la frecuencia del VCO queda determinada por una tensión de referencia y la salida de señal se reemplaza por una secuencia AIS. A la salida de la memoria elástica se tiene el codificador desde NRZ a HDB3/CMI y la interfaz a la línea. ADD/DROP (DROP/INSERT). La operación consiste en una versión reducida de la conexión BE/BI espalda contra espalda. Se la utiliza en una estación intermedia donde se desea obtener solo los canales de servicio y supervisión y donde el canal principal continúa sin ser demultiplexado (en tránsito). Obsérvese que A/D permite obtener canales de servicio (una señal de 704 o de 2048 kb/s y/o canales aislados de 64 kb/s) sin necesidad de recuperar el canal principal, el cual hace tránsito directo en esta estación.

En el ejemplo desarrollado más adelante para un sistema de alta capacidad a 4x34 Mb/s; se puede deducir que de los 4 trenes de datos en paralelo que se obtienen desde el demodulador, 3 de ellos hacen tránsito y el restante se demultiplexa para obtener un canal principal de 34.368 kb/s y otro de servicio de 704 kb/s.

El canal principal de 34.368 Kb/s puede derivarse hacia un multiplexor de orden inferior para efectuar también allí la operación A/D y obtener canales de 2048 kb/s. El canal auxiliar de 704 kb/s también se envía a un multiplexor adecuado operando en la configuración A/D para extraer canales individuales de 64 kb/s. En caso de alarma general de datos recibidos se efectúa un Restart consistente en generar la señal de trama localmente y el reloj para mantener una trama de comunicación hacia adelante con una señal principal en la condición AIS.

En caso de alarma de banda-base local se efectúa un By-Pass consistente en enviar la

señal de ingreso directamente a la salida. De esta forma se mantiene en comunicación las estaciones adyacentes aunque la presente se encuentre en alarma local.

En los sistemas SDH esta operación queda garantizada y simplificada ya que en la trama se hace uso del concepto de punteros para señalar la ubicación de los canales tributarios dentro de la trama de multiplexación STM-1.

3.3 Modem y Transceptor

3.3.1 Etapa Modulador-Demodulador

La etapa modulador-demodulador continúa luego de la etapa de Banda-Base y tiene como objetivo la codificación y la modulación de la señal digital.

Las funciones genéricas son:

- Codificación y decodificación de la señal digital.
- Filtrado del canal antes del modulador.
- Ecuación en recepción de la señal demodulada
- Generación del oscilador local para el modulador.
- Modulación y demodulación de la señal digital filtrada para obtener la frecuencia intermedia.
- Filtrado de la frecuencia intermedia.

Existen varios tipos de codificación previos a la modulación; que como no se encuentran normalizados pueden o no existir dependiendo del diseño:

- Codificador scrambler.
- Codificación fec para corrección de errores.
- Codificación interleaver.

- Codificación diferencial.

Luego de la multiplexación de datos en la trama digital se encuentra un circuito aleatorizador SCR de salida permite eliminar las secuencias periódicas. De esta forma se puede distribuir la potencia en todo el espectro evitando armónicas con alta concentración de potencia que ofician de interferencia a otros sistemas. La codificación diferencial permite reducir las exigencias sobre la fase del oscilador local en recepción.

La codificación para Corrección de Errores FEC puede ser del tipo bloques o convolucional. En los últimos diseños de equipos se utilizan ambos tipos de formatos simultáneamente. En el formato convolucional el codificador se asocia a la modulación TCM de forma que el codificador y el modulador forman una sola unidad. El codificador Interleaver permite la distribución de datos en el tiempo para disminuir los efectos de la propagación con Fading selectivo en ráfagas de errores.

Por último antes de la modulación, los datos son filtrados antes del modulador en una banda de frecuencias reducida. Los filtros en banda base son del tipo digital-transversal FIR mientras que los de frecuencia intermedia pueden ser del tipo onda acústica superficial SAW. El oscilador local OL de IF puede ser un VCO controlado en un loop de fase PLL mediante un oscilador a cristal de alta estabilidad. Se trata entonces de un oscilador VCO con un Control Automático de Fase APC. Eventualmente, en algunos diseños de los años `80, la tensión de control del VCO era sumada con la señal analógica de canales de servicio que se denominaba sub-banda base SBB.

Un exceso en la tensión de control de VCO produce el "silenciamiento" (Squelch) de la IF modulada ya que se interpreta como que él lo está excedido en la tolerancia de frecuencia. La señal de salida de IF es enviada a la etapa de radiofrecuencia. En paralelo se disponen de puntos de monitoreo en nivel (para medir el espectro); de prueba en tensión (para medir el nivel de salida) y una alarma indicativa del nivel de IF.

El lado demodulador se disponen de las operaciones que son complementarias. Un

circuito típico en recepción es el ecualizador auto adaptativo. Existen ecualizadores en frecuencia intermedia (dominio de la frecuencia) y en banda base (dominio del tiempo). Los mismos permiten mejorar el espectro y la forma de onda respectivamente de la señal recibida antes de la regeneración. En los equipos diseñados en la década de los años '90 el ecualizador en IF ha desaparecido y se han realizado grandes progresos en los de banda base (realizados mediante circuitos integrados).

El circuito que recupera la fase del oscilador local en IF (loop de Costas) trabaja luego de la ecualización y antes de la regeneración. En algunos diseños es posible disponer de los puntos de monitoreo de los ejes I y Q para ver el diagrama de ojo y la constelación de fases. Esta medición subjetiva ha resultado en un bajo interés práctico. Del mismo Loop de Costas se obtiene tanto la tensión del control del oscilador local OL de IF (frecuencias inferiores a 300 Hz) como la subbanda-base SBB de canales de servicio, cuando la misma existía.

El reloj se recupera desde la señal de IF mediante un detector de amplitud que demodula las variaciones de amplitud de la modulación. Un filtro pasabandas recupera la armónica del reloj y sintoniza en fase a un VCO. Una alarma general del demodulador produce el corte de los datos y el reloj de salida hacia la bit extraction BE. Esto determina la aplicación de la señal de AIS hacia adelante.

3.3.2 Etapa Transmisor-Receptor

La estructura básica usada en los equipos de radió enlaces digitales de la primer generación no difería substancialmente en la etapa de radiofrecuencia con los equipos para señales analógicas. En realidad a principios de los años '80 se realizaban equipos compatibles para la transmisión analógica y digital. Incluso se pensó en usar equipos analógicos para transmitir señales digitales.

Los equipos de la segunda generación de fines de los años '80 trabajan con modulación PSK o QAM de gran número de fases y requieren de tecnologías substancialmente distintas.

Funciones generales:

- Entrada de la frecuencia intermedia.

- Generador del oscilador local de RF.
- Conversión Up y Down desde IF hacia RF en transmisión y recepción.
- Control automático de ganancia a nivel de IF en recepción.
- Amplificación de potencia en transmisión y bajo ruido en recepción.
- Control de potencia ATPC y linealizador de RF.
- Ecuación del retardo de grupo y la linealidad de amplitud.
- Circuito de branching: filtros, circuladores y guía de onda o cable coaxial de salida.

La señal IF proveniente del modulador ingresa al mezclador de imagen suprimida IRM (Imagen Rejection Mezclator). El LO puede ser del tipo resonante dieléctrico DRO o de control de fase APC programable, dependiendo si se desea o no disponer de una programación de frecuencias. Normalmente el oscilador de RF es programable (oscilador sintetizado) para equipos de baja capacidad (hasta 16x2 Mb/s) y fijo para alta capacidad (STM-1). Posee un punto de monitoreo para medir la frecuencia, un punto de test para medir un valor de tensión proporcional al nivel de salida y una alarma que se acciona con un nivel por debajo de un umbral establecido. El amplificador de salida está realizado en la tecnología de película delgada y son circuitos HMIC.

A la salida se tiene un punto de monitoreo de la RF en paralelo para medir el espectro transmitido. Se tiene un punto de prueba para medir un nivel de tensión proporcional a la potencia de salida y una alarma que indica bajo nivel de emisión. En equipos de alta capacidad se utilizan linealizadores o predistorsionadores. La función de estos circuitos, colocados antes o después del conversor IRM, es la de proporcionar una corrección sobre la intermodulación producida por el amplificador de potencia del transmisor. En los equipos PDH de 140 Mb/s en algunos casos eran ajustables mediante mediciones

(generadores de 3 o 4 tonos de frecuencia).

El amplificador de salida dispone de un Back-off. Se trata del margen entre la potencia obtenida del amplificador y la potencia de saturación del mismo. Este valor en dB se incrementa en la medida que aumenta el número de fases del método de modulación. Por ejemplo, desde 2 dB para 4PSK hasta 8 dB para 64QAM. De esta forma el amplificador trabaja en la zona lineal de transferencia limitando la distorsión de inter modulación introducida.

El receptor también posee un preamplificador de entrada HMIC con un down-converter IRM y un oscilador local. Se dispone de un filtro de IF con un ecualizador de linealidad y retardo de grupo. Luego un control automático de ganancia AGC permite mantener estable el nivel de la IF de salida. El AGC entrega un valor de tensión proporcional a la potencia recibida que actúa sobre la atenuación de una etapa intermedia entre amplificadores. Por ello este valor de tensión se relaciona con la Potencia de Recepción PRx. Si el nivel de AGC cae por debajo de un umbral se obtiene la alarma de bajo nivel de potencia recibida PRx. Finalmente la señal de IF se envía al demodulador. En paralelo se tiene un punto de monitoreo para medir el espectro de IF en recepción.

3.4 Particularidades de los Sistemas

3.4.1 Sistema de Baja y Media Capacidad

Se puede considerar como un equipo típico de baja capacidad el que funciona con un ingreso de señal digital de hasta 8x2048 kb/s. Los canales de servicio de la banda-base en general es reducido, desde 32 a 2x64 kb/s. Las bandas típicas en que pueden trabajar estos equipos son en bajas frecuencias (0,8; 1,5 y 2 GHz) para enlaces rurales de mediana longitud y en altas frecuencias (15; 18 y 23 GHz) para enlaces en ciudades de longitudes cortas. Sin embargo, debe tenerse presente que la utilización de las bandas de RF bajas (0,8 y 2 GHz) para sistemas de telefonía móvil obliga a trabajar en alta frecuencia (superior a la banda de 7 GHz).

La modulación empleada en equipos de baja capacidad es la 4PSK (QPSK), aunque se

han ensayado otras modulaciones de igual eficiencia espectral y mejor rendimiento en otros aspectos. Tal es el caso de la modulación CP-FSK mencionada más adelante. Con modulación 4PSK el espaciamiento entre portadoras es de 1,75 MHz para un canal de 2 Mb/s (30 canales de 64 kb/s) y se duplica cada vez que se incrementa al doble la velocidad de transmisión. La banda típica de 1,5 GHz en América Latina comienza en $C=1476$ MHz y termina en $T=1525$ MHz con un centro de banda f_0 en 1476 MHz. Esta banda está siendo liberada paulatinamente luego de casi 15 años de aplicación continua para acomodar sistemas móviles.

Existen algunas bandas de frecuencias que requieren menor separación entre portadoras, es decir se dispone de un ancho de banda útil inferior. Para estas bandas (2 y 7 GHz) se puede aplicar una modulación de mayor eficiencia espectral como la modulación TCM. Una particularidad utilizada es la adopción de un único LO de RF con lo cual se utilizan distintas IF en Tx y Rx. Por ejemplo, la IF de recepción es de 70 MHz y como la separación entre portadoras de ida y vuelta (Shift entre N y N') en la banda de 1,5 GHz es de 54 MHz (en Argentina), la IF de transmisión es de 124 MHz.

Se interpreta como media capacidad a los equipos que trabajan con banda-base de 34 Mb/s o sub-STM-1. Los equipos de radió enlace PDH de 34 Mb/s suelen disponer de una modulación 4PSK con un número de canales de servicio mayor, desde 2×64 kb/s a 704 kb/s (equivalente a $10+1$ canales de 64 kb/s). Recurren a la codificación diferencial y aleatorización como es costumbre. No disponen, en general, de métodos para corrección de errores. La detección de errores para obtener alarmas de calidad del enlace se encuentra asegurada mediante el uso de bits de paridad.

Un equipo sub-STM-1 en cambio es de hecho mucho más complejo. Tiene una tecnología 10 años más avanzada y sus prestaciones son diferentes. Puede encontrarse un detalle más extenso en el Capítulo referido a radió enlaces SDH.

EJEMPLO: EQUIPO SRAL (SIEMENS). Este equipo es de baja capacidad porque ha sido diseñado para trabajar con un máximo de 8×2 Mb/s. El diseño es del año 1996 por lo cual incorpora una serie de tecnología de fin de siglo. Dispone de dos técnicas de corrección de errores (FEC a bloques y convolucional).

Sus características más importantes son:

- Están diseñados para la banda de 7 GHz y 15/18/23 GHz. Por trabajar en alta frecuencia de microondas se estructura con dos módulos: uno interno IDU (InDoor Unit) y otro externo ODU (OutDoor Unit). El IDU contiene las funciones de banda base y frecuencia intermedia IF, mientras que el ODU dispone las funciones de radiofrecuencia y antena.
- Un cable de unión entre IDU y ODU permite llevar las siguientes señales: espectro de IF principal en transmisión (320 MHz) y recepción (70 MHz); señal de servicios (gestión y comunicación vocal) entre IDU-ODU hacia arriba (6,5 MHz) y hacia abajo (7,5 MHz); alimentación de corriente continua para el ODU.
- La gestión del sistema se realiza mediante protocolos TCP/IP con un protocolo de aplicación propietario TNMP. Este tipo de gestión es más simple que la TMN y permite una conexión hacia ella mediante una interfaz adaptadora Q con protocolos ISO normalizados.
- Trama de banda base. Por ejemplo en el caso de 4x2 Mb/s se forma una trama de 9728 kb/s. La trama contiene un total de 152 Bytes distribuidos de la siguiente forma: SW (2 Bytes) para el alineamiento de trama (11110110 00101000).
- B1 (46 Bytes) de los cuales 44 son de tributarios (entrelazado de bytes de tributarios de 2 Mb/s) y 2 bytes están disponibles para el usuario, para supervisión y gestión y como canal EOW de servicio.
- ID (1 Byte) para identificador de enlace (Link ID similar al Hop Trace) y para ATPC.
- B2 (46 Bytes) similar a B1.
- IP (1 Byte) para alarmas remotas FERF (falla de receptor remoto) y FEBE (recepción de error en CRC) y bits de paridad CRC-4 para detección de error.
- B3 (46 Bytes) similar a B1.

- FEC (10 Bytes) para código corrector de errores FEC del tipo bloques Reed-Solomon RS (152,142). Este código permite la corrección de 5 bytes errados por trama.
- Corrección de errores FEC convolucional. Se aplica una etapa de codificación Trellis y decodificador mediante el algoritmo de Viterbi.
- Codificación Interleaver. Permite reducir los efectos producidos por las ráfagas de errores (Burst). Es del tipo matricial de 152x4 Bytes; es decir, trabaja con 4 tramas de 152 Bytes cada una.
- Codificador Scrambler. Es del tipo auto sincronizado y el polinomio generador es el $X^{12}+X^{11}+X^{10}+X^2+1$.
- Utiliza un tipo de modulación especial derivada de las CP-FSK; modulación FSK de fase continúa.

3.4.2 Sistemas de Alta Capacidad Pdh (140 Mb/S)

Los sistemas de alta capacidad PDH involucran 4x34 (140) Mb/s. La modulación es 16QAM o 64QAM dependiendo del plan de canalización de frecuencias disponibles (80 y 60 MHz respectivamente). El número de canales de servicio es mayor a los equipos anteriores (desde 704 a 2048 kb/s).

La longitud del codificador para aleatorización se incrementa en la medida que aumenta la velocidad del canal. Se dispone de un codificador diferencial y combinatorio. El codificador FEC para corregir errores se diseña del tipo BCH o Reed-Solomon. El FEC se realiza con chips semicustom en tecnología CMOS. El decodificador FEC entrega alarmas de tasa de error con umbrales en 10^{-3} y 10^{-6} , una alarma de falta de alineamiento y un punto de medida de errores donde se dispone de un pulso por cada error detectado.

El espectro se conforma antes de la modulación QAM mediante filtros digitales con roll-

off de 0,35. En frecuencia intermedia pueden usarse filtros SAW con roll-off de 0,20. Los equipos de alta capacidad han requerido numerosos esfuerzos de desarrollo para obtener una performance de trabajo similar a los radió enlaces analógicos. Dichos esfuerzos son aún mayores en los equipos de la tercera generación para la red sincrónica SDH. Se recurre a métodos de modulación más eficientes desde el punto de vista del rendimiento espectral como ser 256QAM o TCM e incrementar el número de canales hasta valores de 2x140 Mb/s o 4x140 Mb/s. Los equipos de segunda generación en una eventual comparación con los analógicos tienen menor o igual eficiencia espectral, consumen mayor potencia ocupando un mayor espacio e incluso son más caros. Esto nos lleva a pensar que los radió enlaces analógicos fueron reemplazados más por necesidad que por conveniencia. Necesidad que proviene del hecho que toda la red será digital durante los años '90 debido a razones de calidad del servicio y costos en los equipos de conmutación y multiplexación.

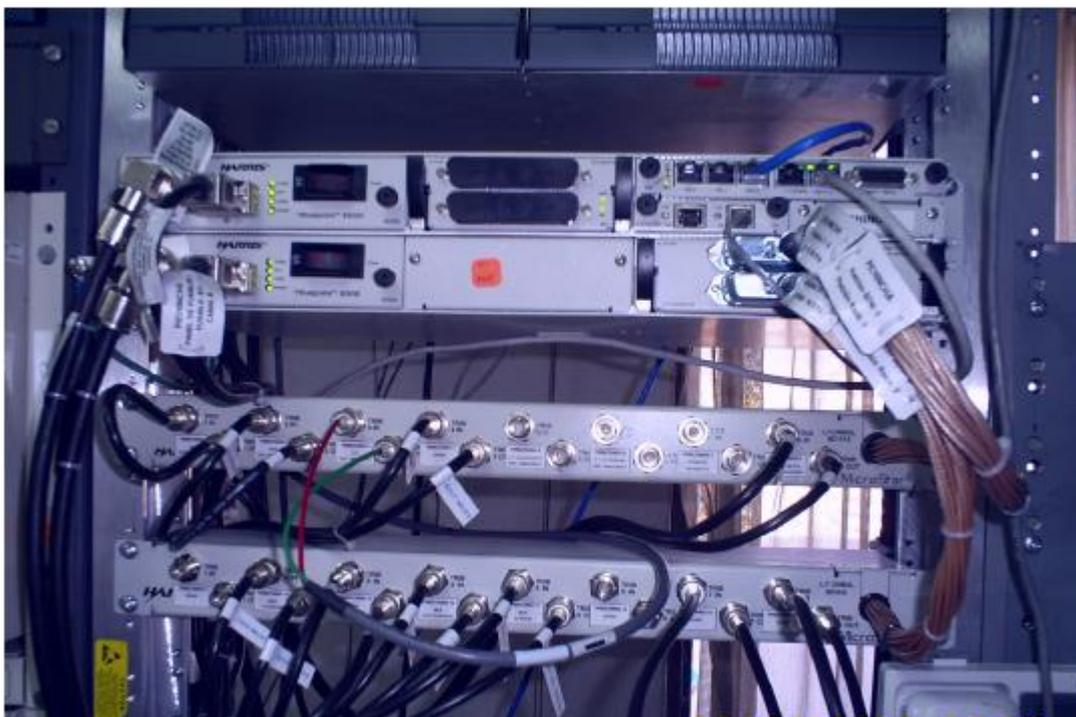


Figura 9. Equipo de Microonda de Alta Capacidad Pdh (140 Mb/S)

3.5 Sistemas Sdh A 155 Mb/S

Los sistemas de radió enlaces digitales funcionando a la velocidad STM-1 a 155 Mb/s se han desarrollado para cumplir con la siguiente premisa «Compatibilidad con los radio enlaces digitales PDH en cuanto hace al plan de frecuencias del CCIR, longitud entre estaciones, consumo, etc». Para obtener dicha compatibilidad se han realizado nuevos

desarrollos. Algunos de los mismos se exponen brevemente a continuación:

Tecnología de banda base mediante circuitos HCMOS VSLI de espesor 1 μm que permite una integración de 100.000 compuertas por chip. Una reducción general de consumo de 55 watts a 31 w entre los equipos de 2ª y 3ª generación.

Se utiliza la conmutación Hitless (hasta 11+1). El canal de comunicación entre terminales está provisto por el SOH. La conmutación se efectúa a nivel de VC-4 con información de BER desde la SOH. Criterio de conmutación mediante "FastBer" consistente en una tasa de error de adquisición rápida mediante el corrector de errores de la modulación TCM.

Posibilidad de colocar un canal para tráfico Wayside mediante los Bytes de la SOH no definidos para compatibilidad con los radió enlaces PDH. Sobre el mismo SOH se envía información de control del ATPC y para información de rápida tasa de error FastBer.

Ecualización digital adaptativa en el dominio del tiempo ATD-FS (fraccionalmente espaciado) que muestra una mejor relación performance/complejidad.

Modulación de alta eficiencia espectral (64TCM, 128TCM y 512TCM). Esto constituye una tercera generación de equipos digitales (1ª generación con modulación 4PSK y 16QAM; 2ª generación con modulación 16QAM y 64QAM). La codificación Trellis de 4-dimensiones 4D-TCM es una modulación con decisión temporal y corrección de errores soft en lugar de hard. Se han propuesto también variantes de la modulación QAM (constelación cruzada) asociada a correctores de errores FEC del tipo BCH.

Corrección de errores mediante códigos FEC del tipo a bloques (QAM-BCH) o convolucionales (TCM-Viterbi). Este último permite obtener $\text{BER} = 10^{-3}$ con una $C/N = 24,8$ dB para la modulación 128TCM (para 64QAM la $C/N = 24,6$ dB).

Equivalente a una potencia de recepción de -75 dBm en la banda de 6 GHz (figura de ruido de 3,5 dB).

Filtrado digital mediante un roll-off de 0,35 para el plan de frecuencias de 30 MHz (modulación 128TCM) y de 0,6 para el plan de 40 MHz (64TCM). El valor necesario se reduce a 0,2 en la operación 2x155 Mb/s con modulación 512TCM.

Uso de un oscilador resonante dieléctrico DRO en transmisión como Up-Converter. Se

compensa la falta de linealidad del FETAsGa (amplificador del oscilador) para producir la conversión IF-RF. Permite una ganancia de 17 dB respecto del conversor IRM pasivo.

Uso de DRO de alta estabilidad con la temperatura que permite una estabilidad de 15 ppm entre 5 y 45 °C; con ruido de fase de -75 dBc/Hz a 1 KHz. Realizado con Titanato de Zirconio {ZrX TiY SnZ O4 (x+y+z=2)}.

Linealizador para reducir los productos de inter modulación que trabaja en RF sobre el amplificador de potencia SSPA. Se aprovecha la linealidad del FET-AsGa en la región cercana al pinch-off. Permitiendo mejor adaptación que el linealizador en IF y no requiere ajuste de campo.

Control automático de la potencia de transmisión ATPC para mantener reducida la potencia de salida durante los períodos de buena propagación. Con una potencia nominal de transmisión de 29 dBm el ATPC trabaja a 19 dBm con un máximo de 30 dBm en momentos de mala propagación (saturación en 38 dBm).

Filtros de branching estabilizados mediante dieléctrico [Ba(Zr,Zn,Ta)O3] con un factor Q superior al doble de las cavidades convencionales y con una reducción del volumen del 30%. La atenuación del branching se reduce de 1,2 dB a 0,7 dB debido a la eliminación de circuladores y uso de filtros adaptados.

Combinador para diversidad de espacio adaptativo con mínimo valor de BER en banda base o una combinación entre máxima potencia y mínima dispersión.

3.5.1. Antenas de Microondas

La antena utilizada generalmente en las microondas es la de tipo parabólico. El tamaño típico es de un diámetro de unos 3 metros. La antena es fijada rígidamente, y transmite un haz estrecho que debe estar perfectamente enfocado hacia la antena receptora.

Estas antenas de microondas se deben ubicar a una altura considerable sobre el nivel del suelo, con el fin de conseguir mayores separaciones posibles entre ellas y poder superar posibles obstáculos. Sin obstáculos intermedios la distancia máxima entre antenas es de aproximadamente 7,14 km, claro está que esta distancia se puede extender, si se

aprovecha la característica de curvatura de la tierra, por medio de la cual las microondas se desvían o refractan en la atmósfera terrestre.

Por ejemplo dos antenas de microondas situadas a una altura de 100 m pueden separarse una distancia total de 82 km, esto se da bajo ciertas condiciones, como terreno y topografía. Es por ello que esta distancia puede variar de acuerdo a las condiciones que se manejen.

La distancia cubierta por enlaces microondas puede ser incrementada por el uso de repetidoras, las cuales amplifican y re direccionan la señal, es importante destacar que los obstáculos de la señal pueden ser salvados a través de reflectores pasivos.

La señal de microondas transmitidas es distorsionada y atenuada mientras viaja desde el transmisor hasta el receptor, estas atenuaciones y distorsiones son causadas por una pérdida de potencia dependiente a la distancia, reflexión y refracción debido a obstáculos y superficies reflectoras, y a pérdidas atmosféricas.

La antena permite la propagación y recepción de las ondas electromagnéticas desde/hacia el transmisor en una dirección, generalmente se utiliza antenas de tipo paraboloide

Los diámetros comunes de las antenas son: 0.3,0.6,1.2,1.8,2.4 y 3.0m ;Varios canales en una banda de frecuencia pueden compartir una antena.



Figura 10. Imagen Física de un Enlace de Microondas

3.5.2 Ángulo de Elevación

Es el formado entre la dirección de viaje de una onda radiada desde una antena de estación terrena y la horizontal, o el ángulo de la antena de la estación terrena entre el satélite y la horizontal. Como con cualquier onda propagada a través de la atmósfera de la Tierra sufre absorción y, también, puede contaminarse severamente por el ruido.

3.5.3 Azimut

Es el ángulo de apuntamiento horizontal de una antena. Normalmente se mide en una dirección, según las manecillas del reloj, en grados del norte verdadero. El ángulo de elevación y el azimut dependen ambos, de la latitud de la estación terrena y la longitud de la estación terrena, así como el satélite en órbita.

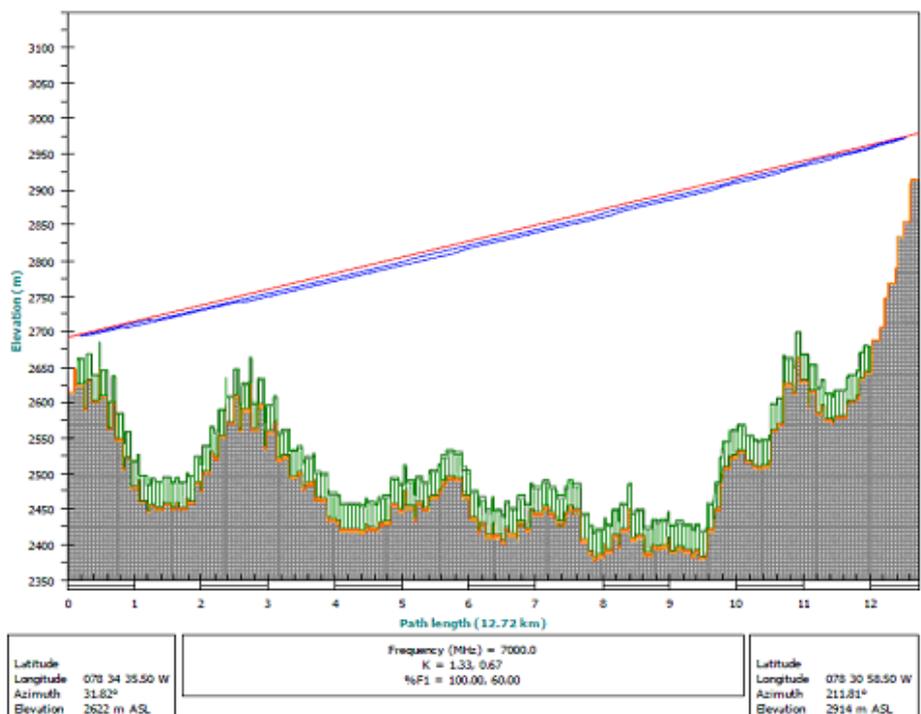


Figura 11. Plot de Simulación de Enlace Radioeléctrico

CAPÍTULO 4

4.1 Planificación de Cobertura

La cobertura del sistema se refiere a las zonas geográficas en las que se va a prestar el servicio. La tecnología más apropiada es aquella que permita una máxima cobertura con un mínimo de estaciones base, manteniendo los parámetros de calidad exigidos por las necesidades de los usuarios. La tendencia en cuanto a cobertura de la red es permitir al usuario acceso a los servicios en cualquier lugar, ya sea local, regional, nacional e incluso mundial, lo que exige acuerdos de interconexión entre diferentes operadoras para extender el servicio a otras áreas de influencia diferentes a las áreas donde cada red ha sido diseñada.

Las características de cobertura de una red celular se encuentran determinadas principalmente por la ubicación y la configuración de las radio bases.

Existen varios factores que deben ser considerados en el diseño de la red como son:

- Características de estaciones móviles.
- Ubicación de los usuarios.
- Tipos de estaciones móviles de los usuarios (fijos/móviles)

El área de servicio dentro de un área de cobertura se encuentra limitada principalmente por la estación móvil. La posibilidad de que un abonado logre originar y mantener una llamada se encuentra determinado por el nivel de intensidad que recibe la estación móvil de la radio base (señal downlink), por el nivel de interferencia co-canal (C/I), el nivel de interferencia adyacente (C/A) y por el nivel de interferencia señal a ruido (S/N).

El nivel de señal de recepción en una estación móvil depende de las pérdidas de transmisión provocadas generalmente por obstáculos entre la estación base y la estación móvil, así como también las pérdidas de propagación por espacio libre. Para desarrollar un nuevo sitio de cobertura principalmente rural, es necesario analizar ciertos requerimientos, como por ejemplo el área de servicio o comercialización, tipo de servicio,

población y el crecimiento del área proyectada.

Se tienen ciertos procedimientos para el escogimiento de un nuevo sitio para cobertura. Inicialmente se debe realizar un análisis del área geográfica, tomando en cuenta la ubicación del mayor porcentaje de asentamiento poblacional y de los principales caminos de acceso, esto se lo puede realizar por medio de cartas topográficas elaboradas por el Instituto Geográfico Militar.

Es importante tomar en cuenta que los posibles lugares elegidos, deben presentar algunas facilidades como por ejemplo camino de acceso y si es posible tendido de energía eléctrica, que debe ser corroborado con una visita de campo a los diferentes sitios. Por medio de herramientas de predicción de cobertura, se tiene una idea de cuál de las opciones es la mayormente recomendada.

Tomando en consideración estos resultados y por medio de un equipo de pruebas de campo, deben realizarse mediciones que permitirán tener una idea más real de cobertura, que no brindan las herramientas de predicción. Con estos elementos, se tienen los criterios necesarios para elegir el lugar más apropiado para ubicar la nueva celda. La altura de la torre ayuda considerablemente a delimitar el área de cobertura, pero es necesario en el proceso de diseño elegir de manera apropiada la altura y el tipo de antenas a ser utilizadas.

Un criterio que puede ser utilizado como punto de inicio para el desarrollo de un sistema móvil celular urbano es la grilla, este criterio permite determinar la posición teórica para las nuevas celdas dentro de una zona determinada.

Las ventajas del uso de este criterio son:

- Facilidad en la expansión del sistema.
- Cobertura homogénea y características de traslape de cada celda.
- Minimizar interferencias adyacentes y co-canales con el uso de alturas, orientaciones, distancias de re-uso de frecuencias y potencias de transmisión de las celdas apropiadas.

- Simplificar ciertas consideraciones en la asignación de frecuencias.

Para decidir el lugar y la altura de la nueva celda, es preciso realizar ciertos procedimientos adicionales. Por medio del equipo de pruebas y utilizando antenas y potencia de transmisión reales se predice el impacto que la nueva celda causará en la red, lo que sirve para determinar las correcciones a ser tomadas con el fin de que el usuario no sienta el cambio. Se realiza el diseño de distintas radió bases para dar cobertura al área de servicio de interés (BTS de cobertura), se tiene que analizar factores como el área mínima requerida para obtener una licencia en un concurso nacional, ya aquí está de por medio el interés económico, porque dependiendo de la ubicación de los centros potenciales de demanda de tráfico y las zonas de cobertura se podrá tener un servicio de calidad (continuidad de servicio).

El resultado del proceso de planificación de cobertura en redes GSM, es obtener los lugares en donde se tiene cobertura y la intensidad de señal que se tendrá en cualquier lugar dentro de la celda. El procedimiento en general para la planificación de cobertura es:

- Tener como dato inicial el área a ser planificada.
- Determinar las pérdidas máximas de trayecto: calculado por medio del link budget (presupuesto del enlace), el cual involucra el cálculo para uplink y downlink. Se toman en cuenta la potencia de transmisión, pérdida en el transmisor y receptor ya sea de cable, conectores, duplexers u otros; niveles de sensibilidad, ganancias de las antenas, pérdidas por cuerpo, pérdida de penetración por construcciones, márgenes de Fading (desvanecimiento) de Rayleigh, margen de interferencia, margen de fading log-normal, pérdidas indoor.
- Determinar el diámetro de la celda: se lo determina por medio de la fórmula de pérdida de trayecto para el codec de voz designado, aplicando algún modelo de propagación de ondas como por ejemplo, Okumura-Hata.
- Determinar el número de celdas necesarias para la cobertura, que es la división entre el área a ser cubierta y el tamaño de la celda, que sería el resultado final.

4.2 Requerimientos de Cobertura

La red celular ideal, mostrada en los libros, tiene celdas hexagonales. En la práctica la cobertura de la celda varía considerablemente dependiendo del terreno, la ubicación de la antena, las construcciones que pudieran interferir, puntos de medición y barreras.

Otro factor que interviene considerablemente en la cobertura es la frecuencia utilizada. Frecuencias bajas tienden a penetrar bien obstáculos, frecuencias altas suelen ser detenidas por objetos chicos. La frecuencia que se va utilizar es de 850 Mhz dividido de la siguiente manera Rx 824-849 Mhz Tx 869 894 Mhz

El nivel de potencia está limitada a (terminales de voz 125mW). La potencia de transmisión del Nodo B (típicamente 20-40W) tiene que ser dividido a todos los usuarios. El objeto del diseño del enlace es para calcular el tamaño de celda máxima bajo los criterios siguientes:

- Tipo de servicio (tipo de datos y velocidad).
- Tipo de medio ambiente (suelo, la construcción de penetración).
- Los factores financieros y económicos (el uso de los equipos más caros y de mejor calidad o no el método más barato de la instalación) y para satisfacer la cobertura del sistema son necesarios, la capacidad y calidad con las necesidades de cada área y servicio. A continuación se muestra el cálculo de pérdidas de propagación entre el Nodo B y el Terminal UE Utilizando el modelo Okamura-Hata

UMTS UL Link budget	
TX	
MóBILE Max Power = 0.125W (dBm)	21
Body loss - Antenna gain (dB)	2
EIRP (dBm)	19
RX	
BTS noise density (dBm/Hz) = Thermal noise density + BTS noise figure	-168
RX noise power (dBm) = -168 + 10 * log(3840000)	-102.2
Interference margin (dB)	3
RX interference power (dBm) = 10 * LOG(10^((-102.2+3)/10) - 10^(-102.2/10))	-102.2
Noise & interference (dBm) = 10 * LOG(10^((-102.2)/10) + 10^(-102.2/10))	-99.2
Process gain (dB), 12.2k voice = 10 * log(3840/12.2)	25
Required Eb/No for speech (dB)	5
Antenna gain (dBi)	17
Cable and connector losses (dB)	3
Fast fading margin (dB) = slow moving mobile	4
RX sensitivity (dBm)	-129.1
Total available path loss (dB)	148.1
Dimensioning	
Log normal fading margin (dB)	7
Indoor / In-vehicle loss (dB)	0
Soft handover gain (dB)	3
Cell edge target propagation loss (dB)	144.1
Okamura-Hata cell range (km) $L = 137.4 + 35.2 \text{LOG}(R)$	1.55

Tabla 3. Cálculo de pérdidas de propagación entre el Nodo B y el Terminal UE

Con los siguientes datos obtenidos se procede a calcular el tamaño del área de la celda:

Pérdida total de propagación según el modelo Okamura-Hata = 144.1 (db)

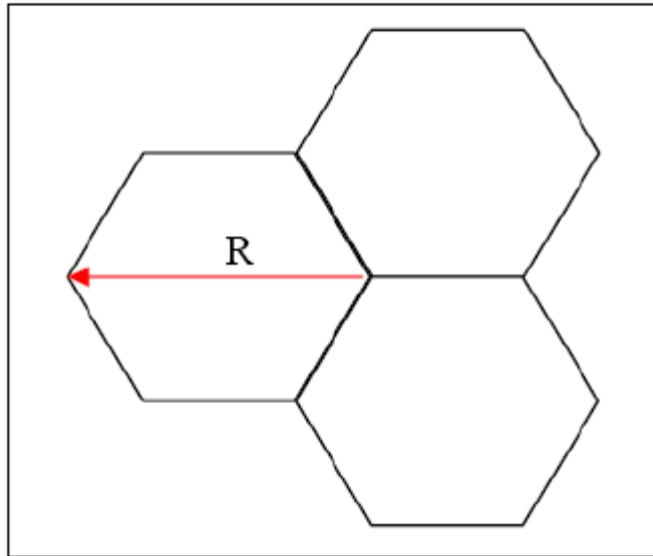


Figura 12 Cálculo del Área de Cobertura

$L(d) = 137.4 + 35.2 \text{ LOG}(R)$ Fórmula de pérdidas en el espacio libre

Despejando

$$R = 10^{\frac{144.1 - 137.4}{35.22}}$$

$$R = 1.55 \text{ Km.}^2$$

$$A_{\text{cell}} = \frac{3x\sqrt{3}}{8} x (R_{\text{MAX}})^2 \quad \text{Fórmula para calcular el área de cobertura}$$

$$A_{\text{cell}} = \frac{3x\sqrt{3}}{8} x (1.55)^2$$

$$A_{\text{cell}} = 1.560 \text{ Km}^2$$

$$\text{Número de sitio}_{\text{rural}} = \frac{A_{\text{rearural}}}{A_{\text{cell}} x S} \quad \text{Fórmula para calcular el número de Nodos B}$$

$$\text{Número de sitio}_{\text{rural}} = \frac{5 \text{ Km}^2}{1.560 x 3 \text{ Km}^2}$$

$$\text{Número de sitio}_{\text{rural}} = 1.06 \text{ sitio}$$

Con los datos obtenidos se concluye que solo se necesita un nodo B para dar cobertura al centro poblado de la parroquia Quimiag

4.3 Definición del Escenario De Diseño

Antes de realizar el diseño de una red hay que tomar una serie de decisiones estratégicas: (cálculos de cobertura o capacidad, servicios de tercera generación a ofrecer) ; y dimensionar la zona que se va a estudiar para posteriormente realizar un cálculo de cobertura radioeléctrica. Una vez realizados todos los estudios teóricos se deberán complementar con equipos de transmisión para que se pueda conseguir cubrir toda la zona estudiada y finalmente integrar los nodos para que se puedan introducir en la red de la compañía específica, pueda recibir y generar llamadas, etc.

En la parroquia Quimiag hay unos 1400 habitantes entre estudiantes y Padres de familia y hay que cubrir varias zonas.

Teniendo todos estos datos en cuenta, conseguimos la población para la cual debemos dimensionar la cobertura móvil UMTS.

1400hab/1 operadora = 1400 hab. Para dar cobertura en general.

1400hab/2turnos =700 hab. Para dar cobertura en cada turno (mañana y tarde).

700hab /3 zonas=234 hab. A cubrir en cada zona, en cada turno y por operadora

4.4 Datos Generales

A continuación se detallan los siguientes datos, para las estaciones base. Hay que tener en cuenta las ganancias de las antenas según el modelo que se quiera instalar y la potencia nominal del nodo B.

Para realizar el estudio de cobertura se va a tomar en cuenta la duración media de la llamada de voz y la duración media de la llamada de datos.

Para este cálculo se va utilizar una duración media de llamada de voz de 5 minutos y una duración media de llamada de datos de 1 hora.

En la Tabla 4 se resumen los datos necesarios para realizar los cálculos para poder realizar el estudio de cobertura.

Número de abonados UMTS	234
Número de abonados de voz 100%	234
Número de abonados de CIRCUIT SWITCHING 50%	117
Número de abonados de PACKET SWITCHING 20%	47
Media de rate por usuario (kb/s)	64
Bloqueo	1%
BCHA voz (Erlangs)	0,42
BCHA video telefonía (Erlangs)	0,09
Duración media llamadas de voz	5 min
Duración media llamadas de datos	1 hora

Tabla 4. Datos para el Cálculo de la Capacidad y Tráfico según clientes

Donde:

BCHA son las tentativas de llamadas en hora cargada.

Rate es la velocidad media de transmisión por usuario.

4.4.1 Dimensionamiento del Enlace Ascendente (Up Link)

Si se quisiera realizar un estudio de una zona urbana, tendríamos que analizar el enlace ascendente, las pérdidas de propagación por altura de edificios, distancias de las antenas a los teléfonos móviles, anchura de las calles, separaciones entre edificios y por la cobertura según el área del terreno.

En este apartado realizaremos un estudio sobre el dimensionamiento del enlace ascendente por el cual entendemos como enlace entre el terminal móvil y el propio nodo B. De igual forma que en el apartado anterior, las operadoras móviles realizan los estudios para diferentes niveles de carga. Estos estudios se realizan para un 60% de carga, donde la carga del enlace es la cantidad de tráfico que puede soportar a la vez un nodo. Para que nos queden unas condiciones más estrictas, en este proyecto, se realizaran los estudios para un 60% de carga.

4.4.2 Dimensionamiento por Capacidad del Enlace Ascendente al 60%

Teniendo en cuenta la Tabla 4 mencionada anteriormente, realizaremos el análisis para voz y datos. Donde en datos tenemos que tener en cuenta que tenemos Circuit Switching (64 Kbits/s), que son las videoconferencias y Packet Switching (384Kbits/s), que es el envío de datos.

4.4.3 Cálculo de Llamadas de voz

Para el cálculo de llamadas de voz lo primero que debemos hacer es saber cuál es la cantidad de tráfico que generará cada usuario.

En la Tabla 4 tenemos que BCHA voz (Erlangs) es 0,42; donde además, hemos definido el siguiente estudio sobre un tiempo estimado medio de llamada de voz de 5 minutos. Al multiplicar este tiempo por hora cargada obtenemos el consumo por usuario.

Se tiene la siguiente fórmula:

$$0,42 \text{ Ex } \left(\frac{5 \text{ min}}{60 \text{ min}} \right) = 35 \text{ mE}$$

Al tener el consumo por usuario, vamos a obtener el número de canales soportados por nuestro enlace ascendente a una carga del 60%.

Para esto tenemos la siguiente fórmula:

Canales = Carga x Valor máximo de usuarios

$$C = Q \times U = 0,6 * 234 = 140.4 \text{ canales}$$

Una vez que tenemos los canales, nos remitimos al Anexo 1 donde tenemos una tabla de Erlang-B. En esta tabla se asocian los canales con el bloqueo que recordemos que es del 1% según la Tabla 4

Con n=140 y la probabilidad de pérdida de 0,01 tenemos 122,01 E.

Al tener el tráfico que puede llegar a soportar nuestro enlace ascendente y haber calculado el tráfico de voz por usuario, con una división conseguimos saber el número de abonados

que puede soportar nuestro enlace por cada sector.

$$(122,01 / 0,035)=3486 \text{ abonados} \quad \text{Tráfico / consumo por usuario} = \text{N}^\circ \text{ de Abonados}$$

Tal y como hemos deducido antes, tenemos un valor máximo teórico de 234 abonados por lo que está claro que por capacidad tenemos suficiente con un solo emplazamiento.

4.4.4 Cálculos para Transferencia de Datos (Packet Switching)

En la Tabla 4 tenemos que BCHA para datos en (Erlangs) es 0,09

Entonces empezamos calculando el consumo por usuario.

Se tiene la siguiente fórmula:

$$0,09 \text{ E} \times \left(\frac{60 \text{ min}}{60 \text{ min}} \right) = 0,09 \text{ E} \quad \text{Consumo por usuario de datos}$$

Al tener el consumo por usuario, vamos a obtener el número de canales soportados por nuestro enlace ascendente a una carga del 60%.

Entonces tenemos que 234 abonados multiplicados por el tráfico de cada usuario en la hora cargada tenemos la siguiente fórmula

$$234 \times 0,09 \text{ E} = 21,06 \text{ E}$$

Donde 21,06 E es el tráfico que soportara nuestro nodo por sector en una hora cargada.

Otra vez, utilizando el Anexo 1 con la tabla de Erlang-B, con una probabilidad de pérdida de un 1% obtenemos 31 canales para conseguir el tráfico soportado por el nodo.

Con este tráfico en hora cargada hay que tener en cuenta el bloqueo del 1%, por lo que:

$$21,06 \times (1 - 0,01) = 20,84 \text{ E}$$

Una vez que tenemos calculado el tráfico de nuestro enlace, calculamos la carga Q:

C= canales

Q= Carga

U= usuarios

$$C = Q \times U$$

$$Q = \frac{31}{234}$$

$$Q = 0,132$$

Con la carga del enlace y la carga máxima a la que vamos a someter nuestro enlace, conseguimos la carga real.

Fórmula para calcular carga real :

Carga real=carga teórica-carga del enlace

Carga real = 0,6 - 0,132 = 0,468 = 46,8%

Con estos valores, hay que calcular el número máximo de canales para datos, con los siguientes datos:

Constante típica para Packet Switching: 0,7

Carga real: 0,468

Número de canales teóricos: 31

Mdata = 0,7 X 0,468 X 31 = 10,15 canales

Vamos a calcular el tráfico teórico de nuestro enlace. Para este cálculo hay que tener en cuenta que cada canal puede soportar 64Kbits/s y como sabemos todos, 1Byte son 8 bits y 1KByte son 1024 Byte.

$$\frac{10,15 \times 64000 \times 3600}{8 \times 1024} = 285468,75 \text{ Kbyte/h}$$

Una vez que tenemos el tráfico teórico, tenemos que compararlo con el práctico, y si el primero es mayor que el segundo, significa que por capacidad, también podemos utilizar un solo nodo con un solo sector.

A la hora de calcular el tráfico práctico, las operadoras calculan un consumo de 40KByte/h por abonado, por 234 abonados, tenemos 9360KByte/h que es claramente inferior al tráfico teórico estudiado con anterioridad.

Tráfico Teórico = 285468,75 Kbyte/h

Trafico Practico = 9360 Kbyte/h

Por lo que se confirma que se requiere una sola Radio Base

4.4.5 Análisis de los Datos Obtenidos

Después de realizar todos los cálculos, tenemos la siguiente tabla resumen de los resultados:

	Llamadas de voz	Packet Switching
Tráfico teórico	3486 abonados	2854,68 kB/h
Tráfico práctico	234 abonados	9360 KB/h

Tabla 5. Resultados Obtenidos

CAPÍTULO 5

5.1. Elección del Tipo de Nodo B

Luego de los cálculos teóricos obtenidos se concluye que con un solo nodo B se puede dar cobertura por capacidad a la parroquia Quimiag

Entonces se necesita un nodo con las siguientes características:

- La interfaz Iub sea por E1s
- Un nodo B de características Outdoor
- Bajo consumo de corriente
- Que soporte la configuración de 3 sectores
- Potencia de trabajo de 20 W
- Frecuencia de trabajo 850 MHz
-

Los equipos que componen el Sistema Distribuido de nodos B se compone a su vez de los siguientes elementos: BBU, RRU .

5.1.1 Esquema general

Un sistema UMTS basado en la configuración de cabezas remotas presenta Un esquema tal como este.

ESQUEMA SISTEMA DISTRIBUIDO NODO B

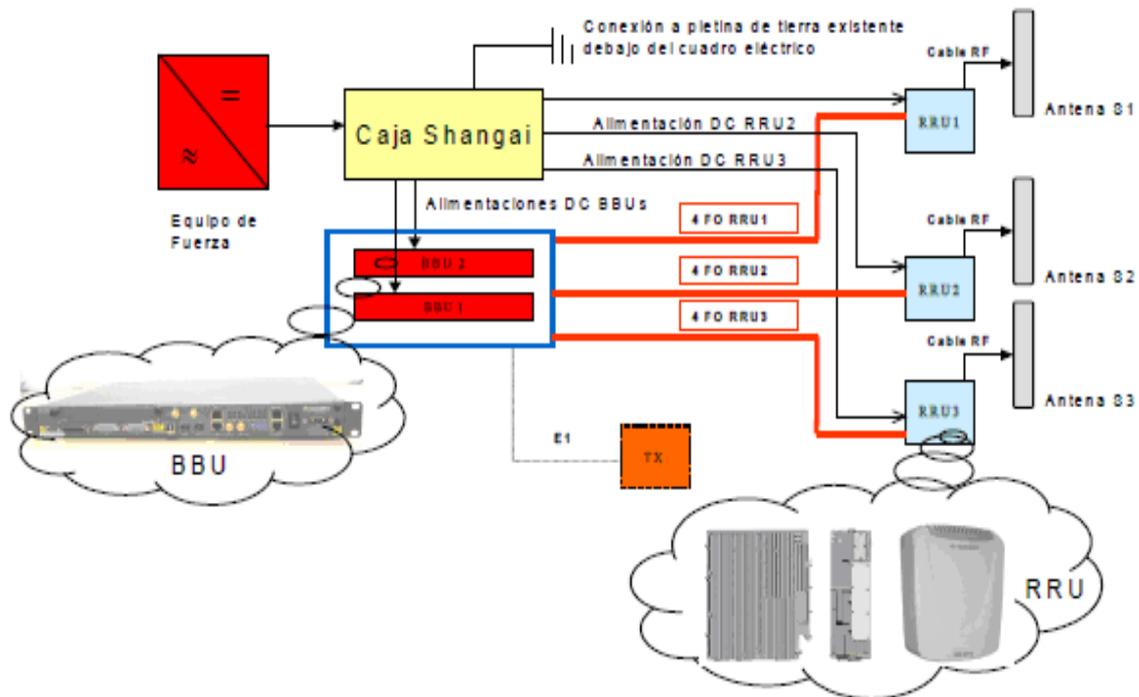


Figura 13. Esquema general equipo UMTS

5.1.2 Características Generales

DBS3800 es un nuevo tipo de nodo B con estructura distribuida, cuenta con un tamaño pequeño, de gran capacidad, alta integración de proporcionar una solución para cumplir los requisitos requeridos, rápida instalación y de despliegue de red. Esto permite a los operadores lograr una cobertura de radio en las zonas urbanas, áreas suburbanas, áreas rurales, autopistas, vías férreas, y los puntos calientes.

DBS3800 proporciona el modo de múltiples interfaces conectadas a la Convención Nacional Red pública, por ejemplo como E1/T1, E3/T3, STM-1, y Fast Ethernet (FE). Puede soportar IP sobre E1/T1 o FE o ATM sobre E1/T1 o STM-1 o ATM / IP de doble pila de Iub interfaz. La solución Iub IP puede ayudar al operador para guardar la transmisión costos hasta en un 40%. La Radio de la controladora de red (RNC) y DBS3800s puede apoyar múltiples modos de red, por ejemplo, estrella, cadena, árbol, anillo, e híbrido. Los modos de la creación de redes de la cadena y el árbol de soportar hasta cinco niveles en cascada. El BBU y RRU3801Cs también puede apoyar la creación de redes múltiples modos, tales como estrellas, anillos, cadenas, e híbridos. Se trata de

ocho niveles de apoyo de la RRU en cascada para obtener un fácil despliegue de la red. La mayor distancia en cascada de un solo nivel es de 40 km, y en cascada de varios niveles 100 km.

5.2 Especificaciones Técnicas

Capacidad:

- Una sola BBU3806/BBU3806C permite tener con la actualización de software versión V100R009, que puede soportar 256 CE en el enlace ascendente (UL) y 384 CE
- Un solo BBU3806/BBU3806C soporta 3 x 1 de configuración.
- El operador puede ampliar la capacidad de Nodo B distribuido por apilar un máximo de BBU3806Cs
- Dos BBU3806Cs de apilamiento puede permitir que 512 CE en el enlace ascendente (UL) y 768 CE en el enlace descendente (DL).

Technical Specification	
Full Frequency Range	1800MHz, 1900MHz, 2100MHz, 850M, 900M
Number of Cells	12 Cells
Number of Sectors	6 Sectors
Dimension (HxWxD)	BBU: 42x436x300 (mm), RRU: 610x380x200(mm)
Weight	BBU: 5 kg , RRU: 20kg
Output Power	40W
Max power consumption	BBU:60W, RRU:240W
Receiver Sensitivity	-126.2dBm (Single Antenna without TMA)
Power Supply	BBU:24VDC/-48VDC, RRU: -48VDC/220V AC
Temperature Range	BBU: -5~-55 °C, RRU: -40 to +50 °C

Tabla 6. Especificaciones Técnicas

5.3 Descripción de la unidad BBU 3800

Es la unidad que realiza el procesado en banda base del nodo B, dejando la parte de RF a la RRU. La BBU gestiona y controla hasta 3 RRUs mediante fibra y por medio del equipo de transmisión se conecta a la RNC que gestiona dicho Nodo B. La BBU dispone de 2 versiones de alimentación: una a -48Vdc y otra a +24 Vdc. Siempre que la BBU se instale en el interior de la caseta o habitación reformada, se considerará instalación indoor y en el resto será considerada como instalación outdoor.

En el caso anterior, la RBS presentábamos los modelos (2106 y 2206) uno outdoor y el otro indoor respectivamente, en este caso sólo si la instalación se realiza en el exterior de la caseta se utilizará un armario llamado APM para encapsular estos componentes de lo contrario se utilizará un rack típico de 19”.

Todos los emplazamientos irán equipados siempre con 2 BBUs. La instalación de las BBUs será de forma contigua. Denominaremos BBU 1 (maestro) a la que se encuentre instalada en la parte inferior y BBU 2 (esclavo) a la instalada en la parte superior. Solo se utiliza una BBU, la segunda BBU es un backup de la primera.

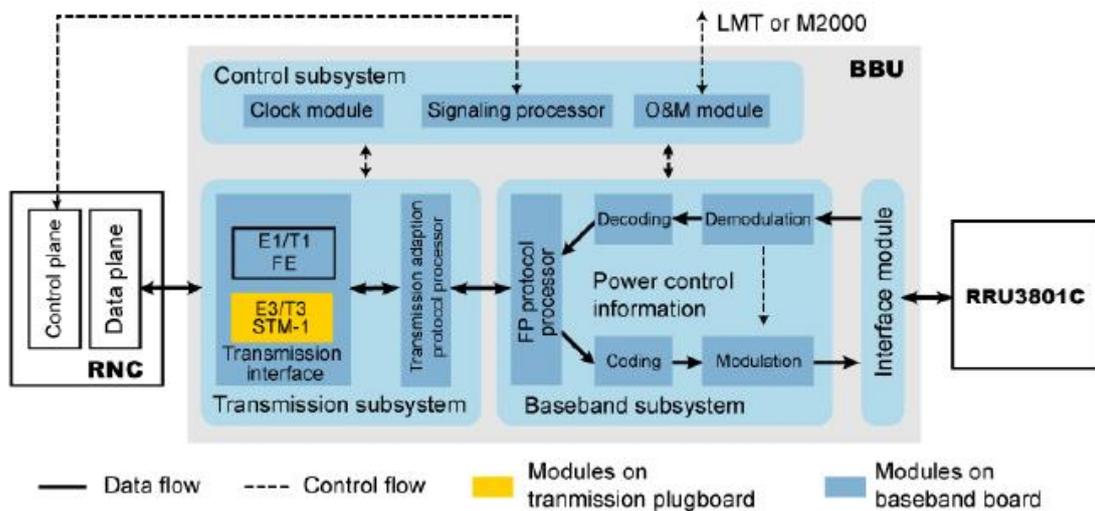


Figura 14. Módulos funcionales de la BBU

5.3.1 Las conexiones necesarias para cada BBU son:

- Alimentación a -48Vdc desde un disyuntor de 6 A.
- Conexión a tierra.
- Conexión por FO con las RRUs.
- Conexión E1 a los enlaces de Transmisión hacia la RNC (hasta 8 E1s).



BBU

Figura 15. Unidad BBU

5.3.2 Las Dimensiones de una BBU son:

- 426x300x42mm (ancho x fondo x alto), el peso es de 5kg y el consumo de 60W.

Rango de Temperaturas de las BBU's:

- De - 5 a 55 °C
- De + 55 a 60°C funciona pero impacta en la durabilidad de la BBU
- 60°C empieza a dar alarmas y puede dar problemas
- 65°C deja de funcionar

5.4 Descripción de la Unidad RRU3801C

La RRU es la unidad exterior responsable de la parte de radiofrecuencia, que se conecta a las antenas mediante cable RF. Como norma general se instalarán lo más próximo a las antenas de radio, ya que de esta manera la atenuación de señal es mínima. Si se colocan cerca de las BBU la señal estará expuesta a una atenuación similar a la de cualquier otro equipo (RBS 2106). Las RRU son de 40 W, con dos versiones de alimentación tanto a 48V DC como 230 V AC.

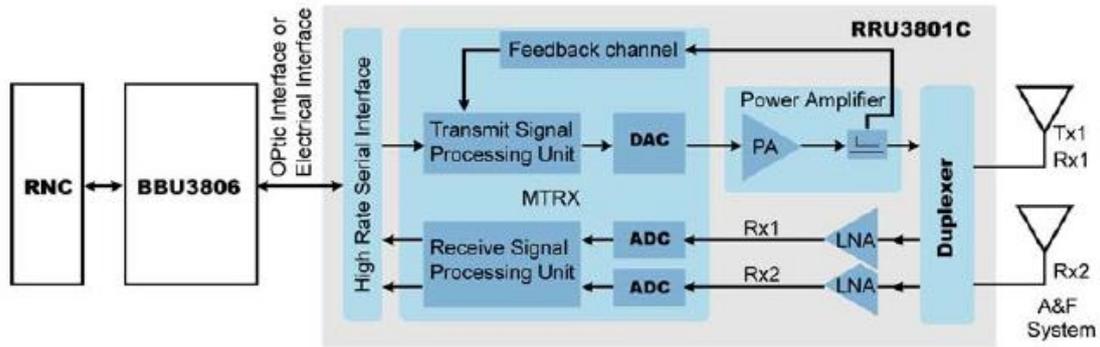


Figura 16. Módulos Funcionales de la RRU

Las conexiones necesarias para la RRU 3801C son:

Alimentación en DC desde un disyuntor de 10 A en continua.

Conexión a tierra.

Conexión de la FO procedente de las BBUs (una manguera de 4 fibras por cada RRU).

Conexión con el sistema radiante (directamente a la antena o a un diplexor), mediante cable de RF.

Las dimensiones de las RRU son 610x80x200mm (ancho x fondo x alto), el peso es de 20 Kg. y el consumo es de 240W



Figura 17. Unidad RRU

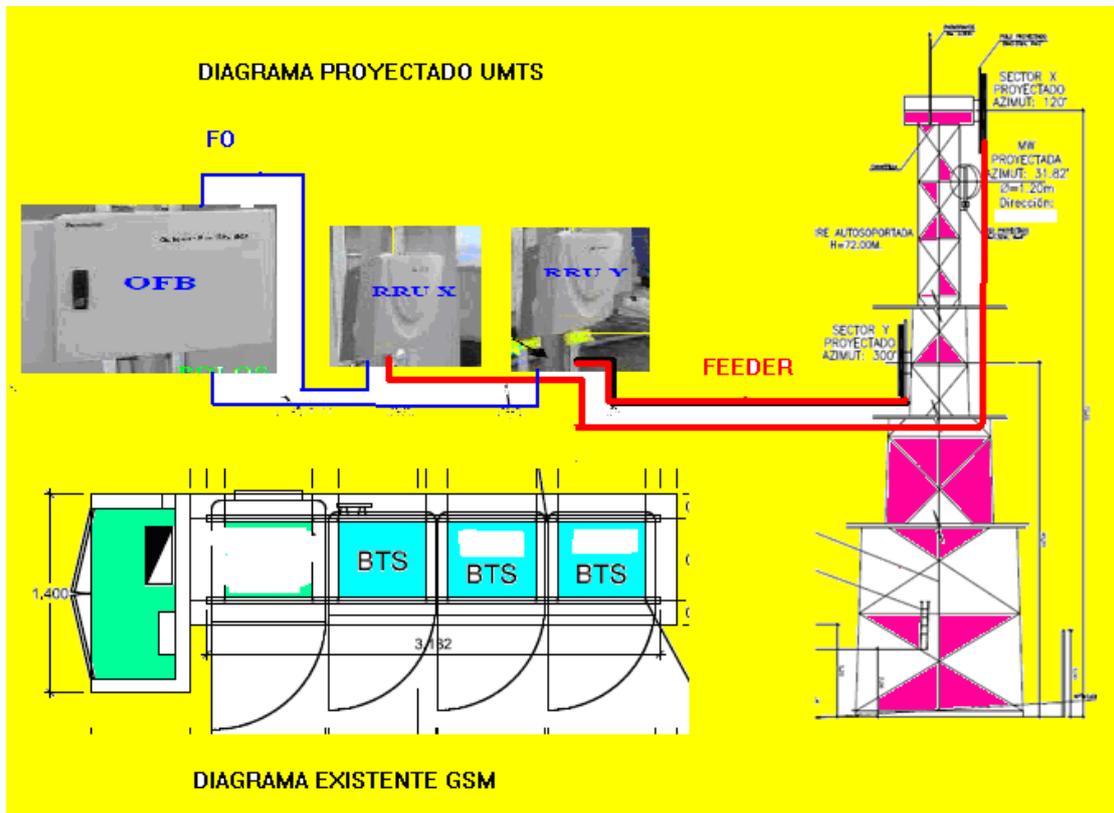


Figura 18. Diagrama Proyecto UMTS

CAPÍTULO 6

6.1 CONCLUSIONES

1. Es de mucha importancia tomar en cuenta el hecho de que la distancia de cobertura en el enlace de subida de un sitio es menor que la del enlace de bajada. Este factor es determinante en el cálculo del número de sitios por cobertura.
2. La topología de los terrenos a cubrir y la densidad de edificaciones pueden definir el aumento en el número de celdas de cualquier tipo (macro, micro y pico) de acuerdo a la propagación que la señal presente en determinados sectores.
3. La velocidad de transmisión de datos en UL (enlace de subida) es el de mayor incidencia en cuanto a cobertura, como se mostró en el capítulo 4.
4. El modelo de propagación a utilizar en estos diseños cambiará de acuerdo a la frecuencia a utilizar en el diseño.
5. El factor más importante de interferencia en redes WCDMA es el número de usuarios simultáneos en la zona de cobertura de la celda.
6. Se ha utilizado celdas de tres sectores, pero en el proceso de optimización y puesta en marcha de la red se podría ver necesario el aumento de celdas de uno o dos sectores.
7. Una de las funcionalidades importantes de la tecnología UMTS es la factibilidad de realización de handovers entre sistemas UMTS y GSM, esta ventaja permite el aprovechamiento de los recursos de cobertura de la tecnología GSM como soporte en lugares no provistos con cobertura UMTS.
8. La decisión de aumento de número de sitios en este tipo de tecnología se encuentra principalmente limitada por el costo de implementación que sugieren los mismos.

9. El diseño de redes de telefonía celular y de algunos otros tipos de redes de transmisión de datos, ya sea voz o cualquier otro tipo, implica la utilización de el uso de software especializado, por la cantidad de características a manejar y sobre todo la velocidad de procesamiento de los datos, ya que sin estas herramientas el tratamiento de la información para estos diseños sería excesivamente larga.

6.2 RECOMENDACIONES

1. En estos tiempos de alta competencia en la tecnología celular es recomendable para las operadoras mantenerse actualizadas en tecnología y servicios a ofrecer cualquier servicio agregado que se pueda ofrecer implica una ventaja sustancial contra los competidores.
2. Es recomendable también tomar en cuenta que los costos, en cuanto a equipos de tecnología celular, como son las estaciones han bajado considerablemente en los últimos años (aproximadamente en un 60%), por lo cual es realmente grande el valor de rentabilidad de este tipo de servicio.
3. En las redes celulares existe la posibilidad de realizar lo que se conoce como un “OVERLAY”, que consiste en la implementación de otro tipo de tecnología celular, como son; GSM, CDMA, o la misma UMTS, sobre sitios existentes de la misma red. Se recomienda también este tipo de procedimiento, para reducir costos de migración a la tecnología UMTS, en cuanto a torres de soporte de las antenas y alquiler de los sitios físicos que soportarán la nueva tecnología.
4. Como se menciona en el trabajo presentado UMTS es recomendado implementarse. Al menos en su fase inicial, en zonas urbanas por la cantidad de clientes potenciales que en este tipo de áreas se presentan.
5. Realizar lo que se conoce como el “Model Tunning”, esta metodología permite determinar el modelo de propagación a utilizar para zonas que no presentan características comunes a los diferentes tipos de área (rural urbano, urbano denso y suburbano), y se realiza tomando medidas de señal dentro del área en estudio y realizando una regresión estadística de la señal en función de la distancia entre el equipo de medición que recibe la señal y la estación transmisora de prueba.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] <http://www.umtsworld.com/technology>
- [2] <http://www.umtsworld.com/news>
- [3] http://www.umtsforum.net/mostrar_noticias
- [4] <http://www.3gpp.org/specs/workitem-info>
- [5] <http://www.umtsworld.com/umts/history.htm>
- [6] http://www.tbig.net/courses/umts/e/pdf/modul_4_e.pdf
- [7] <http://www.tek.com>
- [8] http://www.lucent.com/livelink/09009403800879a3_newsletter.pdf
- [9] www.3gamericas.com
- [10] www.makkays.com/3G%20UMTS/3GUMTSguide.pdf, Octubre 2009
- [11] Estudio de factibilidad para la implementación en el Ecuador de redes inalámbricas (IEEE 802.11) sobre redes celulares de tercera generación (UMTS) mediante la utilización de la tecnología Unlicensed Mobile Access (UMA),
- [12] Harri Holma and Antti Toskala, WCDMA FOR UMTS, Radio Access for Third Generation Mobile Communications 3rd Edition 2004. Diciembre 2009
- [13] ESPOL, Diseño de una red UMTS con cobertura en las principales ciudades del Ecuador, <http://bieec.epn.edu.ec:8180/dspace/handle/123456789/841>, Octubre 2009
- [14] ESPOL, Estudio comparativo del estándar IEEE 802.20 (Mobile FI) versus UMTS para servicio de acceso inalámbrico a usuarios móviles en el Ecuador <http://bieec.epn.edu.ec:8180/dspace/handle/123456789/1204>, Diciembre 2009 73
- [15] Universidad de San Carlos de Guatemala, Migración de GSM a UMTS, http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_7624.pdf, Noviembre 2009.
- [16] Laboratorio docente de Computacion, TDD-CDMA para comunicaciones inalámbricas de 4ta generación, <http://www ldc.usb.ve/~figueira/cursos/redes2/EXPOSICIONES/4G/contenido.html> Enero 2010.
- [17] Roger Coudé, Radio Mobile Software, <http://www.cplus.org>, Noviembre 2009.
- [18] Superintendencia de Telecomunicaciones, reporte de usuarios de SMA Marzo 2010, [http:// www.supertel.gov.ec](http://www.supertel.gov.ec), Noviembre 2009.

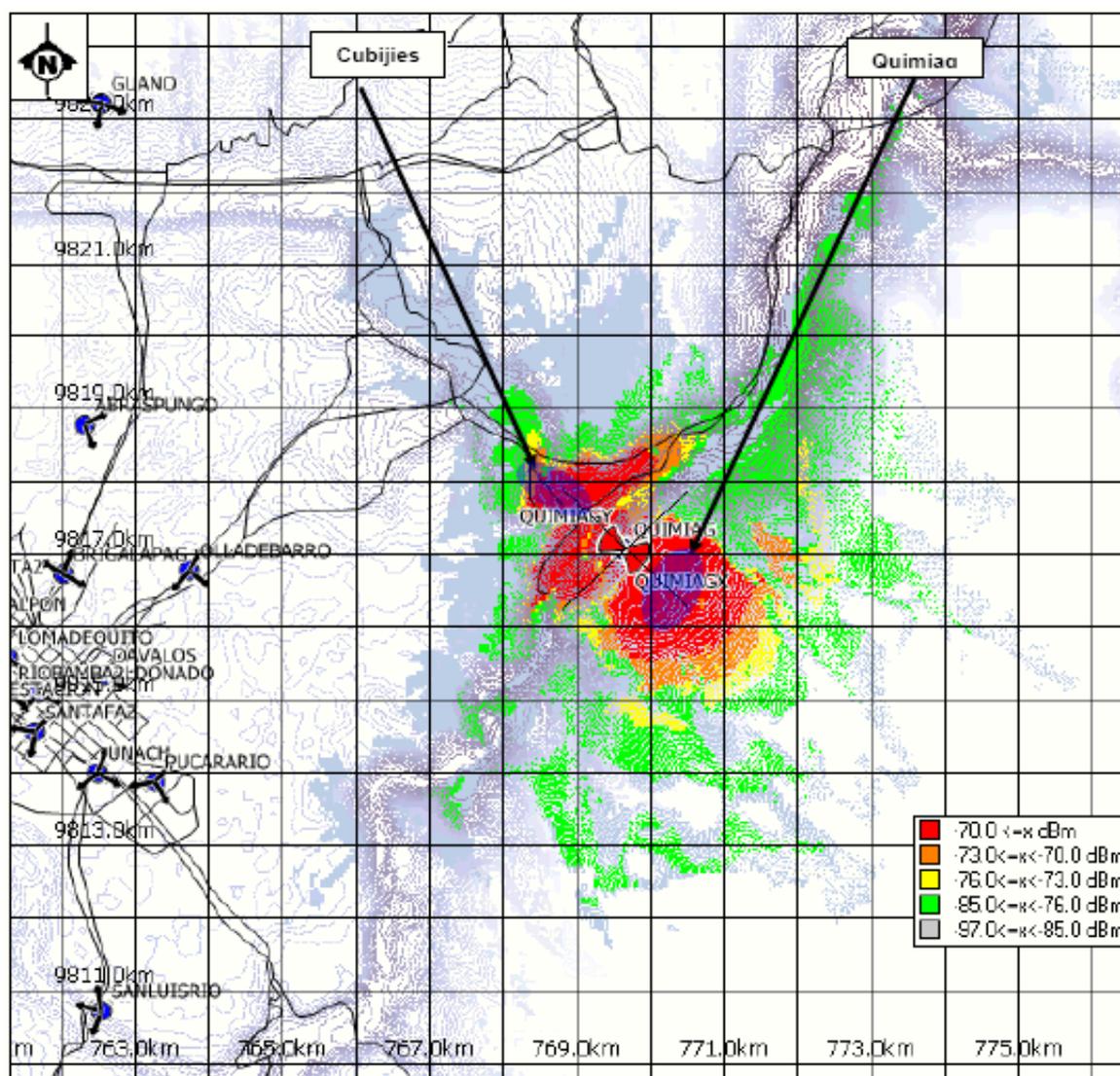
ANEXO 1

n	Probabilidad de pérdida (E)									n	
	0.007	0.008	0.009	0.01	0.02	0.03	0.05	0.1	0.2		0.4
1	.00705	.00806	.00908	.01010	.02041	.03093	.05263	.11111	.25000	.66667	1
2	.12600	.13532	.14416	.15259	.22347	.28155	.38132	.59543	1.0000	2.0000	2
3	.39664	.41757	.43711	.45549	.60221	.71513	.89940	1.2708	1.9299	3.4798	3
4	.77729	.81029	.84085	.86942	1.0923	1.2589	1.5246	2.0454	2.9452	5.0210	4
5	1.2362	1.2810	1.3223	1.3608	1.6571	1.8752	2.2185	2.8811	4.0104	6.5955	5
6	1.7531	1.8093	1.8610	1.9090	2.2759	2.5431	2.9603	3.7584	5.1086	8.1907	6
7	2.3149	2.3820	2.4437	2.5009	2.9354	3.2497	3.7378	4.6662	6.2302	9.7998	7
8	2.9125	2.9902	3.0615	3.1276	3.6271	3.9865	4.5430	5.5971	7.3692	11.419	8
9	3.5395	3.6274	3.7080	3.7825	4.3447	4.7479	5.3702	6.5464	8.5217	13.045	9
10	4.1911	4.2889	4.3784	4.4612	5.0840	5.5294	6.2157	7.5106	9.6850	14.677	10
11	4.8637	4.9709	5.0691	5.1599	5.8415	6.3280	7.0764	8.4871	10.857	16.314	11
12	5.5543	5.6708	5.7774	5.8760	6.6147	7.1410	7.9501	9.4740	12.036	17.954	12
13	6.2607	6.3863	6.5011	6.6072	7.4015	7.9667	8.8349	10.470	13.222	19.598	13
14	6.9811	7.1155	7.2382	7.3517	8.2003	8.8035	9.7295	11.473	14.413	21.243	14
15	7.7139	7.8568	7.9874	8.1080	9.0096	9.6500	10.633	12.484	15.608	22.891	15
16	8.4579	8.6092	8.7474	8.8750	9.8284	10.505	11.544	13.500	16.807	24.541	16
17	9.2119	9.3714	9.5171	9.6516	10.656	11.368	12.461	14.522	18.010	26.192	17
18	9.9751	10.143	10.296	10.437	11.491	12.238	13.385	15.548	19.216	27.844	18
19	10.747	10.922	11.082	11.230	12.333	13.115	14.315	16.579	20.424	29.498	19
20	11.526	11.709	11.876	12.031	13.182	13.997	15.249	17.613	21.635	31.152	20
21	12.312	12.503	12.677	12.838	14.036	14.885	16.189	18.651	22.848	32.808	21
22	13.105	13.303	13.484	13.651	14.896	15.778	17.132	19.692	24.064	34.464	22
23	13.904	14.110	14.297	14.470	15.761	16.675	18.080	20.737	25.281	36.121	23
24	14.709	14.922	15.116	15.295	16.631	17.577	19.031	21.784	26.499	37.779	24
25	15.519	15.739	15.939	16.125	17.505	18.483	19.985	22.833	27.720	39.437	25
26	16.334	16.561	16.768	16.959	18.383	19.392	20.943	23.885	28.941	41.096	26
27	17.153	17.387	17.601	17.797	19.265	20.305	21.904	24.939	30.164	42.755	27
28	17.977	18.218	18.438	18.640	20.150	21.221	22.867	25.995	31.388	44.414	28
29	18.805	19.053	19.279	19.487	21.039	22.140	23.833	27.053	32.614	46.074	29
30	19.637	19.891	20.123	20.337	21.932	23.062	24.802	28.113	33.840	47.735	30
31	20.473	20.734	20.972	21.191	22.827	23.987	25.773	29.174	35.067	49.395	31
32	21.312	21.580	21.823	22.048	23.725	24.914	26.746	30.237	36.295	51.056	32
33	22.155	22.429	22.678	22.909	24.626	25.844	27.721	31.301	37.524	52.718	33
34	23.001	23.281	23.536	23.772	25.529	26.776	28.698	32.367	38.754	54.379	34
35	23.849	24.136	24.397	24.638	26.435	27.711	29.677	33.434	39.985	56.041	35
36	24.701	24.994	25.261	25.507	27.343	28.647	30.657	34.503	41.216	57.703	36
37	25.556	25.854	26.127	26.378	28.254	29.585	31.640	35.572	42.448	59.365	37
38	26.413	26.718	26.996	27.252	29.166	30.526	32.624	36.643	43.680	61.028	38
39	27.272	27.583	27.867	28.129	30.081	31.468	33.609	37.715	44.913	62.690	39
40	28.134	28.451	28.741	29.007	30.997	32.412	34.596	38.787	46.147	64.353	40
41	28.999	29.322	29.616	29.888	31.916	33.357	35.584	39.861	47.381	66.016	41
42	29.866	30.194	30.494	30.771	32.836	34.305	36.574	40.936	48.616	67.679	42
43	30.734	31.069	31.374	31.656	33.758	35.253	37.565	42.011	49.851	69.342	43
44	31.605	31.946	32.256	32.543	34.682	36.203	38.557	43.088	51.086	71.006	44
45	32.478	32.824	33.140	33.432	35.607	37.155	39.550	44.165	52.322	72.669	45
46	33.353	33.705	34.026	34.322	36.534	38.108	40.545	45.243	53.559	74.333	46
47	34.230	34.587	34.913	35.215	37.462	39.062	41.540	46.322	54.796	75.997	47
48	35.108	35.471	35.803	36.109	38.392	40.018	42.537	47.401	56.033	77.660	48
49	35.988	36.357	36.694	37.004	39.323	40.975	43.534	48.481	57.270	79.324	49
50	36.870	37.245	37.586	37.901	40.255	41.933	44.533	49.562	58.508	80.988	50
51	37.754	38.134	38.480	38.800	41.189	42.892	45.533	50.644	59.746	82.652	51
n	0.007	0.008	0.009	0.01	0.02	0.03	0.05	0.1	0.2	0.4	n

n	Probabilidad de pérdida (E)										n
	0.007	0.008	0.009	0.01	0.02	0.03	0.05	0.1	0.2	0.4	
101	83.296	83.916	84.482	85.005	88.941	91.784	96.265	105.21	121.89	165.92	101
102	84.225	84.849	85.419	85.946	89.910	92.774	97.289	106.30	123.13	167.58	102
103	85.155	85.783	86.357	86.888	90.880	93.765	98.314	107.40	124.38	169.25	103
104	86.086	86.718	87.296	87.830	91.850	94.756	99.339	108.50	125.63	170.91	104
105	87.017	87.653	88.235	88.773	92.821	95.747	100.36	109.60	126.87	172.58	105
106	87.948	88.589	89.175	89.716	93.791	96.738	101.39	110.70	128.12	174.25	106
107	88.880	89.525	90.115	90.660	94.763	97.730	102.42	111.79	129.36	175.91	107
108	89.812	90.462	91.055	91.604	95.734	98.722	103.44	112.89	130.61	177.58	108
109	90.745	91.399	91.996	92.548	96.706	99.715	104.47	113.99	131.86	179.24	109
110	91.678	92.336	92.937	93.493	97.678	100.71	105.49	115.09	133.10	180.91	110
111	92.612	93.274	93.879	94.438	98.651	101.70	106.52	116.19	134.35	182.58	111
112	93.546	94.212	94.821	95.384	99.624	102.69	107.55	117.29	135.59	184.24	112
113	94.481	95.151	95.764	96.330	100.60	103.69	108.57	118.39	136.84	185.91	113
114	95.416	96.090	96.707	97.277	101.57	104.68	109.60	119.49	138.09	187.57	114
115	96.352	97.030	97.650	98.223	102.54	105.68	110.63	120.58	139.33	189.24	115
116	97.287	97.970	98.594	99.171	103.52	106.67	111.66	121.68	140.58	190.91	116
117	98.224	98.910	99.538	100.12	104.49	107.66	112.69	122.78	141.83	192.57	117
118	99.160	99.851	100.48	101.07	105.47	108.66	113.71	123.88	143.07	194.24	118
119	100.10	100.79	101.43	102.01	106.44	109.66	114.74	124.98	144.32	195.91	119
120	101.04	101.73	102.37	102.96	107.42	110.65	115.77	126.08	145.57	197.57	120
121	101.97	102.68	103.32	103.91	108.39	111.65	116.80	127.18	146.81	199.24	121
122	102.91	103.62	104.26	104.86	109.37	112.64	117.83	128.28	148.06	200.90	122
123	103.85	104.56	105.21	105.81	110.35	113.64	118.86	129.38	149.31	202.57	123
124	104.79	105.50	106.16	106.76	111.32	114.64	119.89	130.48	150.55	204.24	124
125	105.73	106.45	107.10	107.71	112.30	115.63	120.92	131.58	151.80	205.90	125
126	106.67	107.39	108.05	108.66	113.28	116.63	121.95	132.68	153.05	207.57	126
127	107.61	108.34	109.00	109.61	114.25	117.63	122.98	133.78	154.29	209.23	127
128	108.55	109.28	109.95	110.57	115.23	118.62	124.01	134.88	155.54	210.90	128
129	109.49	110.22	110.90	111.52	116.21	119.62	125.04	135.99	156.79	212.57	129
130	110.43	111.17	111.85	112.47	117.19	120.62	126.07	137.09	158.03	214.23	130
131	111.37	112.12	112.79	113.42	118.17	121.62	127.10	138.19	159.28	215.90	131
132	112.31	113.06	113.74	114.38	119.15	122.62	128.13	139.29	160.53	217.57	132
133	113.26	114.01	114.69	115.33	120.12	123.61	129.16	140.39	161.77	219.23	133
134	114.20	114.95	115.64	116.28	121.10	124.61	130.19	141.49	163.02	220.90	134
135	115.14	115.90	116.59	117.24	122.08	125.61	131.22	142.59	164.27	222.56	135
136	116.09	116.85	117.54	118.19	123.06	126.61	132.25	143.69	165.52	224.23	136
137	117.03	117.80	118.50	119.14	124.04	127.61	133.28	144.80	166.76	225.90	137
138	117.97	118.74	119.45	120.10	125.02	128.61	134.32	145.90	168.01	227.56	138
139	118.92	119.69	120.40	121.05	126.00	129.61	135.35	147.00	169.26	229.23	139
140	119.86	120.64	121.35	122.01	126.98	130.61	136.38	148.10	170.50	230.90	140
141	120.81	121.59	122.30	122.96	127.97	131.61	137.41	149.20	171.75	232.56	141
142	121.75	122.54	123.26	123.92	128.95	132.61	138.44	150.30	173.00	234.23	142
143	122.70	123.49	124.21	124.88	129.93	133.61	139.48	151.41	174.25	235.89	143
144	123.64	124.44	125.16	125.83	130.91	134.61	140.51	152.51	175.49	237.56	144
145	124.59	125.39	126.11	126.79	131.89	135.61	141.54	153.61	176.74	239.23	145
146	125.54	126.34	127.07	127.75	132.87	136.61	142.57	154.71	177.99	240.89	146
147	126.48	127.29	128.02	128.70	133.86	137.61	143.61	155.82	179.24	242.56	147
148	127.43	128.24	128.98	129.66	134.84	138.61	144.64	156.92	180.48	244.23	148
149	128.38	129.19	129.93	130.62	135.82	139.62	145.67	158.02	181.73	245.89	149
150	129.32	130.14	130.88	131.58	136.80	140.62	146.71	159.12	182.98	247.56	150
151	130.27	131.09	131.84	132.53	137.79	141.62	147.74	160.23	184.23	249.22	151
n	0.007	0.008	0.009	0.01	0.02	0.03	0.05	0.1	0.2	0.4	n
n	Probabilidad de pérdida (E)										n
n	Probabilidad de pérdida (E)										n

ANEXO 2

Plot de cobertura de Node B



ANEXO 3

Características de Antenas UMTS

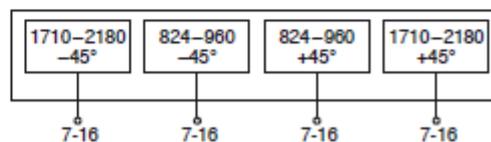
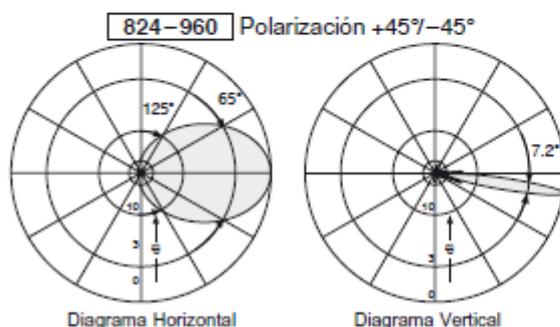
Panel	824-960	1710-2180
Polarización Cruzada	X	X
Abertura Horizontal	65°	65°
Downtilt Eléctrico Ajustable	0°-7°	0°-6°

Ajuste Manual o con RCU = Unidad de Controle Remoto, Opcional

KATHREIN
MOBILCOM BRASIL

Panel 65°/65° XXPol 824-960/1710-2180 17/18.5dBi 0°-7°/0°-6°T

Descripción	742 266				
Rango de Frecuencia	824-960 824-894 MHz 880-960 MHz		1710-2180 1710-1880 MHz 1850-1990 MHz 1900-2180 MHz		
Polarización	+45°, -45°	+45°, -45°	+45°, -45°	+45°, -45°	+45°, -45°
Ganancia	2 x 16.5 dBi	2 x 17 dBi	2 x 17.8 dBi	2 x 18.2 dBi	2 x 18.3 dBi
Diagrama Horizontal					
Ancho del haz de media potencia	68°	65°	67°	65°	62°
Relación frente/espalda	> 28 dB	> 28 dB	> 25 dB	> 25 dB	> 25 dB
Relación Cross polar	Típico: 20 dB	Típico: 20 dB	Típico: 17 dB	Típico: 18 dB	Típico: 18 dB
Dirección principal	0°	0°	0°	0°	0°
Sector	±60°	> 10 dB	> 10 dB	> 10 dB	> 10 dB
Diagrama Vertical					
Ancho del haz de media potencia	7.3°	7.0°	5.2°	5.0°	4.7°
Downtilt eléctrico ajustable	0.5°-7°	0.5°-7°	0°-6°	0°-6°	0°-6°
Supresión del primer lóbulo por encima del lóbulo principal	0.5° ... 4° ... 7° T 14 ... 14 ... 14 dB	0.5° ... 4° ... 7° T 16 ... 16 ... 16 dB	0° ... 3° ... 6° T 13 ... 13 ... 13 dB	0° ... 3° ... 6° T 16 ... 15 ... 14 dB	0° ... 3° ... 6° T 15 ... 15 ... 15 dB
Impedancia	50 Ω	50 Ω	50 Ω	50 Ω	50 Ω
ROE	< 1.5	< 1.5	< 1.5	< 1.5	< 1.5
Aislamiento entre puertas	> 30 dB	> 30 dB	> 30 dB	> 30 dB	> 30 dB
Aislamiento entre sistemas	Típico: > 50 dB (824-960 // 1710-2180 MHz)				
Intermodulación IM3	< -150 dBc (2 x 43 dBm portadora)		< -150 dBc (2 x 43 dBm portadora)		
Potencia máxima de entrada	500 W		250 W		
Potencia Total	1000 W		500 W		
	(temperatura ambiente de 50 °C)				



Características mecánicas

Accesorios

Instrucciones Generales

Accesorios (opcionales, comprar por separado)

Modelo	Descripción	Observación	Peso aprox.	Cant. por antena
738 546	1 abrazadera	Mástil: 50 – 115 mm dia.	1.0 kg	2
850 10002	1 abrazadera	Mástil: 110 – 220 mm dia.	2.7 kg	2
850 10003	1 abrazadera	Mástil: 210 – 380 mm dia.	4.8 kg	2
733 677	1 abrazadera	Mástil: 60 – 115 mm dia.	2.0 kg	2
733 678	1 abrazadera	Mástil: 115 – 210 mm dia.	2.6 kg	2
733 679	1 abrazadera	Mástil: 210 – 380 mm dia.	4.0 kg	2
733 680	1 abrazadera	Mástil: 380 – 521 mm dia.	5.3 kg	2
850 10007	1 conjunto downtilt	Ángulo del downtilt: 0° – 8	5.9 kg	1

Para instalación utilizase las abrazaderas con diámetro adecuado al mástil, juntamente con el conjunto de downtilt.

Montaje en pared: No es necesario ningún conjunto adicional.

Material:

Panel reflector: Aluminio resistente a la intemperie.
Radomo en fibra de vidrio: Los radomos en fibra de vidrio color gris son muy estables y presentan una rigidez extraordinaria. Son resistentes a los rayos ultravioletas y aceptan pintura para fines de mimetización.
 Tornillos y tuercas: acero inoxidable.

Puesta a tierra:

Las partes metálicas de la antena así como los opcionales para la instalación los conductores internos son puestos a la tierra. La entrada 824-960 MHz también recibe puesta a tierra DC. La entrada 1710-2170 MHz son casadas capacitivamente.

Condiciones Ambientales:

Las antenas celulares desarrolladas por Kathrein pueden operar bajo las condiciones ambientales descritas en la ETS 300 019-1-4 Clase 4.1E. Las antenas exceden esta norma con referencia a los siguientes ítem:
 - Temperatura baja: -55°C
 - Temperatura alta (seca): +60°C

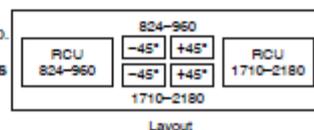
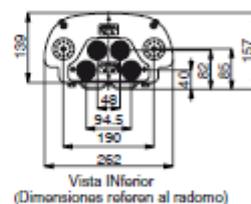
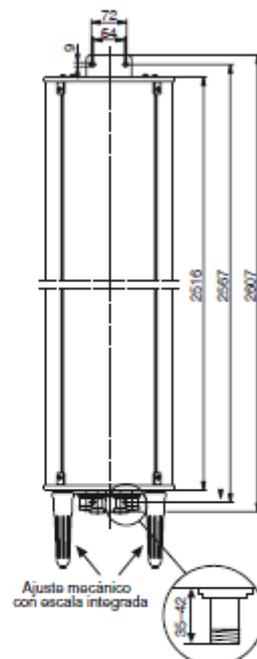
Protección contra hielo: Debido a la robustez de la construcción de la antena y la protección de los elementos radiantes proporcionada por el radomo, es posible la suya operación mismo en condiciones de formación de hielo.

Pruebas Ambientales:

Las antenas Kathrein cumplen comprobadamente con los dispositivos ambientales de la norma ETS 300 019-2-4. El diseño homogéneo de las familias de antenas Kathrein emplea módulos y materiales idénticos. Pruebas extensas fueron realizadas en muestras típicas y módulos.

Atención:

Cómo resultado de aspectos legislativos más restrictos y jurisprudencias de responsabilidad civil, Kathrein se ve obligada a destacar ciertos riesgos que puedan ocurrir cuando sus productos son utilizados en condiciones de operación atípicas.



Instrucciones Generales para el ajuste del mecanismo RET

Descripción del ajuste mecánico (sin la tapa protectora):



- ① Mecanismo de ajuste con función gira-traba.
- ② Eje del downtilt eléctrico con escala integrada



- ① Rosca para fijación de la tapa protectora o de la RCU (Remote Control Unit)
- ② Polea para acople de la RCU



Para posicionar el ángulo del downtilt correctamente, Ud. debe mirarlo horizontalmente en la escala. Use la borda inferior del mecanismo para el alineamiento

Procedimiento del ajuste manual:



Remueva la tapa protectora



Ajuste el ángulo del downtilt girando el mecanismo



Vuelva a atornillar la tapa protectora

ANEXO 4



Technical Specifications of Nokia FlexiHopper Radio / Outdoor Unit

General	13	15	18	23	26	38
Frequency range (GHz)	12.76 – 13.24	14.51 – 15.34	17.71 – 19.69	21.23 – 23.60	24.55 – 26.45	37.05 – 39.44
Transmission capacity	2 x 2, 4 x 2, 8 x 2 or 16 x 2 Mbit/s (Software programmable)					
Modulation	$\pi/4$ DQPSK					
Channel spacing (MHz)	3.5/7.0/14.0/28.0		5/7.5/13.75/27.5		3.5/7.0/14.0/28.0	
Power consumption	max 25 W					
Operational temperature	-45 to +50 °C					
Weight and dimensions	5.5 kg		4.6 kg			4.0 kg
	230 x 210 x 210		230 x 210 x 165			230 x 210 x 120
Antenna type	Integrated low profile antenna with vertical/horizontal polarisation					
Antenna gain (dBi)	35.5 – 45.0	32.0 – 46.2	34.4 – 48.2	35.5 – 49.5	36.9 – 46.9	39.6 – 44.3

Transmitter	Typical values in dBm					
Output power	20 dBm		18 dBm			16 dBm
Power adjustment range	25 dB					

Receiver Threshold level at antenna port

Capacity (Mbit/s)	Typical values in dBm BER 10 ⁻³ / BER 10 ⁻⁶						
2 x 2			-92/-89			-91/-88	-88/-85
4 x 2			-89/-86			-88/-85	-88/-85
8 x 2			-86/-83			-85/-82	-85/-82
16 x 2			-83/-80			-82/-79	-82/-79



Abstract



Advances in the state-of-the-art have made wireless technology a more compelling solution for many consumer applications. This poses a problem to many practicing engineers and technology managers who are unfamiliar with the relevant concepts and terminology. To add to the confusion, FCC regulations require the use of Spread Spectrum techniques for most applications in the unlicensed bands.

This paper is intended to provide the basic concepts necessary to perform a top level analysis of a wireless link. In addition, other terms and concepts are briefly described with should help in understanding some of the system design issues, including a brief description of Spread Spectrum techniques. Two examples are given which demonstrate the influence of range, data rate, and modulation technique on the radio requirements.

Introduction

There has been a great deal of interest of late in the application of wireless technology in industrial, commercial, and even consumer environments. Several vendors, including Intersil, offer products which comply with FCC regulations for unlicensed operation at 2.4GHz. These regulations permit radiated RF power of up to 1W when spread spectrum modulation techniques are used. There are many applications for which the complexities imposed by the use of spread spectrum radios are more than offset by the interference rejection properties and higher RF power permitted by FCC regulations.

Successful design of high speed wireless data links involves many factors and is well beyond the scope of this application note. However, a top-level link budget analysis is a fairly straightforward exercise. It is the first step an engineer will take in order to determine the feasibility of any given system. A link budget calculation is also an excellent means for anyone to begin to understand the various factors which must be traded off to realize a given cost and level of reliability for a communications link.

This application note describes a method for performing a basic link budget analysis. This discussion is followed by two simple examples. One example involves a short range wireless link capable of 40kbps/s (kbps), which might be suitable to provide a laptop computer with wireless access to a nearby dial-up modem. The second example involves a high speed (2Mbps), longer range link designed for Wireless USB in a home environment. These examples will demonstrate the effects of range, data rate, and modulation method on system requirements.

PRISM® Overview

PRISM is a 2.4GHz Wireless Local Area Network (WLAN) chip set designed to meet the direct sequence spread spectrum physical layer (radio) specifications of the IEEE802.11 WLAN standard. PRISM uses Differential Phase Shift Keying (DPSK) as the modulation scheme. The PRISM radio architecture provides half duplex wireless RF communications for packet data rate of 2Mbps. PRISM provides 70mW of RF power at the antenna, which enables continuous data connectivity at up to 400 feet indoors and 1000 feet outdoors. For more details, see Intersil Application Note AN9624 PRISM DSSS PC Card Wireless LAN Description.

Communications Basics

When evaluating a wireless link, the three most important questions to be answered are:

1. How much radio frequency (RF) power is available?
2. How much bandwidth is available?
3. What is the required reliability (as defined by Bit Error Rate, or BER)?

In general, RF power and bandwidth effectively place an upper bound on the capacity of a communications link. The upper limit in terms of data rate is given by Shannon's Channel Capacity Theorem:

$$C = B * \log_2 (1 + S/N) \quad (\text{EQ.1})$$

where:

- C = channel capacity (bits/s)
- B = channel bandwidth (Hz)
- S = signal strength (watts)
- N = noise power (watts)

Note that this equation means that for an ideal system, the bit error rate (BER) will approach zero if the data transmission rate is below the channel capacity. In the "real world", the degree to which a practical system can approach this limit is dependent on modulation technique and receiver noise.

Channel Noise

For all communications systems, channel noise is intimately tied to bandwidth. All objects which have heat emit RF energy in the form of random (Gaussian) noise. The amount of radiation emitted can be calculated by:

$$N = kTB \quad (\text{EQ.2})$$

where:

- N = noise power (watts)
- k = Boltzman's constant (1.38×10^{-23} J/K)
- T = system temperature, usually assumed to be 290K
- B = channel bandwidth (Hz)

This is the lowest possible noise level for a system with a given physical temperature. For most applications, temperature is typically assumed to be room temperature (290K). Equations 1 and 2 demonstrate that RF power and bandwidth can be traded off to achieve a given performance level (as defined by BER).

Range and Path Loss

Another key consideration is the issue of range. As radio waves propagate in free space, power falls off as the square of range. For a doubling of range, power reaching a receiver antenna is reduced by a factor of four. This effect is due to the spreading of the radio waves as they propagate, and can be calculated by:

$$L = 20 \log_{10} (4\pi D / \lambda) \quad (\text{EQ.3})$$

where:

D = the distance between receiver and transmitter

λ = free space wavelength = c/f

c = speed of light (3×10^8 m/s)

f = frequency (Hz)

Equation 3 above describes line-of-sight, or free space propagation. Because of building obstructions such as walls and ceilings, propagation losses indoors can be significantly higher. This occurs because of a combination of attenuation by walls and ceilings, and blockage due to equipment, furniture, and even people. For example, a "2 x 4" wood stud wall with sheetrock on both sides results in about 6dB loss per wall. Experience has shown that line-of-sight propagation holds only for about the first 20 feet. Beyond 20 feet, propagation losses indoors increase at up to 30dB per 100 feet (see Figure 1) in dense office environments. This is a good "rule-of-thumb", in that it is conservative (it overstates path loss in most cases). Actual propagation losses may vary significantly depending on building construction and layout.

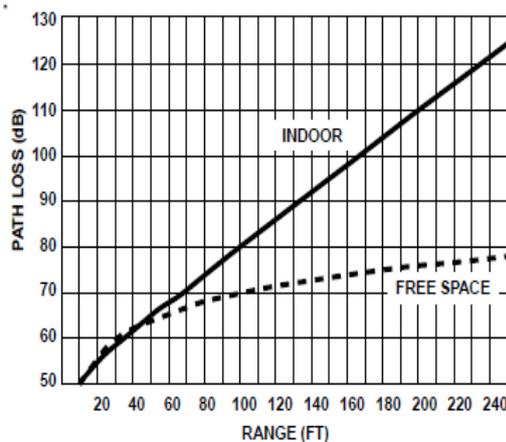


FIGURE 1. ESTIMATED INDOOR PROPAGATION LOSSES AT 2.4GHz

Multipath and Fade Margin

Multipath occurs when waves emitted by the transmitter travel along a different path and interfere destructively with waves travelling on a direct line-of-sight path. This is sometimes referred to as signal fading. This phenomenon occurs because waves travelling along different paths may be completely out of phase when they reach the antenna, thereby canceling each other.

Since signal cancellation is almost never complete, one method of overcoming this problem is to transmit more power. In an indoor environment, multipath is almost always present and tends to be dynamic (constantly varying). Severe fading due to multipath can result in a signal reduction of more than 30dB. It is therefore essential to provide adequate link margin to overcome this loss when designing a wireless system. Failure to do so will adversely affect reliability.

The amount of extra RF power radiated to overcome this phenomenon is referred to as fade margin. The exact amount of fade margin required depends on the desired reliability of the link, but a good rule-of-thumb is 20dB to 30dB.

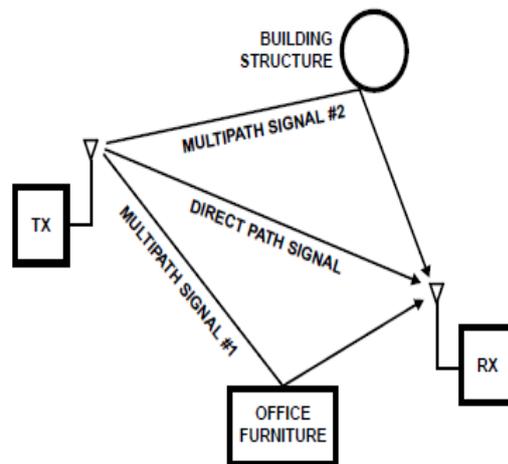


FIGURE 2. MULTIPATH

One method of mitigating the effects of multipath is antenna diversity. Since the cancellation of radio waves is geometry dependent, use of two (or more) antennas separated by at least half of a wavelength can drastically mitigate this problem. On acquisition of a signal, the receiver checks each antenna and simply selects the antenna with the best signal quality. This reduces, but does not eliminate, the required link margin that would otherwise be needed for a system which does not employ diversity. The downside is this approach requires more antennas and a more complicated receiver design.

Another method of dealing with the multipath problem is via the use of an adaptive channel equalizer. Adaptive equalization can be used with or without antenna diversity.

After the signal is received and digitized, it is fed through a series of adaptive delay stages which are summed together via feedback loops. This technique is particularly effective in slowly changing environments such as transmission over telephone lines, but is more difficult to implement in rapidly changing environments like factory floors, offices and homes where transmitters and receivers are moving in relation to each other. The main drawback is the impact on system cost and complexity. Adaptive equalizers can be expensive to implement for broadband data links.

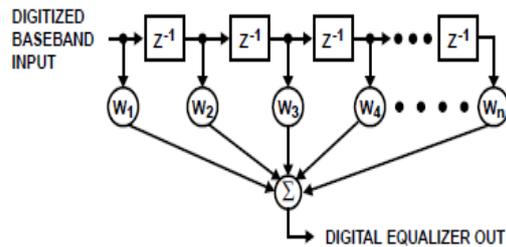


FIGURE 3. ADAPTIVE EQUALIZER

Spread spectrum systems are fairly robust in the presence of multipath. Direct Sequence Spread Spectrum (DSSS) systems will reject reflected signals which are significantly delayed relative to the direct path or strongest signal. This is the same property which allows multiple users to share the same bandwidth in Code Diversity Multiple Access (CDMA) systems. Frequency Hopping Spread Systems (FHSS) also exhibit some degree of immunity to multipath. Because a FHSS transmitter is continuously changing frequencies, it will always hop to some frequencies which experience little or no multipath loss. In a severe fading environment, throughput of an FHSS system will be reduced, but it is unlikely that the link will be lost completely. The performance of DSSS systems in the presence of multipath is described further in a separate section below.

Modulation Technique

Modulation technique is a key consideration. This is the method by which the analog or digital information is converted to signals at RF frequencies suitable for transmission. Selection of modulation method determines system bandwidth, power efficiency, sensitivity, and complexity. Most of us are familiar with Amplitude Modulation (AM) and Frequency Modulation (FM) because of their widespread use in commercial radio. Phase Modulation is another important technique. It is used in applications such as Global Position System (GPS) receivers and some cellular telephone networks.

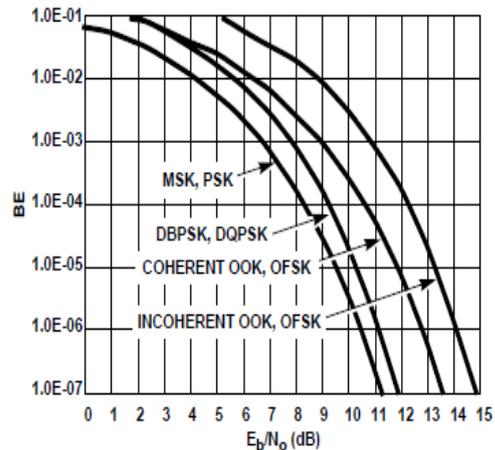


FIGURE 4. PROBABILITY OF BIT ERROR FOR COMMON MODULATION METHODS

For the purposes of link budget analysis, the most important aspect of a given modulation technique is the Signal-to-Noise Ratio (SNR) necessary for a receiver to achieve a specified level of reliability in terms of BER. A graph of E_b/N_0 vs BER is shown in Figure 4. E_b/N_0 is a measure of the required energy per bit relative to the noise power. Note that E_b/N_0 is independent of the system data rate. In order to convert from E_b/N_0 to SNR, the data rate and system bandwidth must be taken into account as shown below:

$$\text{SNR} = (E_b/N_0) * (R/B_T) \quad (\text{EQ.4})$$

where:

E_b = Energy required per bit of information

N_0 = thermal noise in 1Hz of bandwidth

R = system data rate

B_T = system bandwidth

TABLE 1. TYPICAL BANDWIDTHS FOR VARIOUS DIGITAL MODULATION METHODS

MODULATION METHOD	TYPICAL BANDWIDTH (NULL-TO-NULL)
QPSK, DQPSK	1.0 x Bit Rate
MSK	1.5 x Bit Rate
BPSK, DBPSK, OFSK	2.0 x Bit Rate

Spread Spectrum Radios

The term "spread spectrum" simply means that the energy radiated by the transmitter is spread out over a wider amount of the RF spectrum than would otherwise be used. By spreading out the energy, it is far less likely that two users sharing the same spectrum will interfere with each other. This is an important consideration in an unlicensed band, which why the regulatory authorities imposed spread spectrum requirements on radios which transmit over -1dBm (about 0.75mW) in the following bands:

Example 1: Frequency Selection

There are several bands available for unlicensed operation (see Table 2). As described previously, in the Multipath and Fade Margin section, the higher the frequency, the higher the propagation loss. Therefore, a lower frequency is better in terms of propagation loss. It is generally less expensive to build radios at lower frequencies. Other considerations include available bandwidth and regulatory limitations. The available bands are 900MHz, 2.4GHz, and 5.725GHz. The easy choice is 900MHz, but this band is getting crowded with things like cordless phones. For such a short link, 900MHz is still a good choice.

Example 1: Modulation Technique

There are lots of choices here. The Intersil PRISM radio chip set uses Phase Shift Keying (PSK) modulation, but some of the motivating factors behind this choice are not applicable in this instance. A simpler method is Frequency Shift Keying (FSK). FSK is actually a form of Frequency Modulation (FM), which has been around for a long time. With FSK, two separate frequencies are chosen, one frequency representing a logical "zero", the other representing logical "one". Data is transmitted by switching between the two frequencies.

A good choice of modulation would therefore be FSK. The separation of two frequencies relative to the bit rate is called modulation index (h).

$$h = \text{frequency separation} / \text{bit rate} \\ = \Delta f / R$$

A modulation index of 1 (h = 1) is a good choice for a low cost application, unless there are restrictions on bandwidth. When h = 1, the frequencies are said to be orthogonal. This form of modulation is called Orthogonal FSK, or OFSK. Choosing h = 1 results in a simple but fairly robust receiver design. In this case, the frequencies would be separated by 40kHz.

Example 1: System Bandwidth and Noise Floor

In general, the modulation technique dictates the required system bandwidth (or visa versa, depending on design constraints). For FSK modulation and h = 1, the bandwidth is typically about 2 times the data rate (see Table 1), or 80kHz. We therefore can compute the noise power:

$$N = kTB \quad (\text{EQ.6}) \\ = 1.38 \times 10^{-23} \text{ J/K} \times 290\text{K} \times 80,000 \text{ s}^{-1} \\ = 2.4 \times 10^{-13} \text{ mW} \\ = -126\text{dBm}$$

This figure represents a theoretical noise floor for an ideal receiver. A real receiver noise floor will always be higher, due to noise and losses in the receiver itself. Noise Figure (NF) is a measure of the amount of noise added by the receiver itself. A typical number for a low cost receiver would be

about 15dB. This number must be added to the thermal noise to determine the receiver noise floor:

$$\text{Receiver Noise Floor} = -126\text{dBm} + 15\text{dB} \quad (\text{EQ.7}) \\ = -111\text{dBm}$$

Example 1: Receiver Sensitivity

The first step in performing the link budget is determining the required signal strength at the receiver input. This is referred to as receiver sensitivity (P_{rx}). As described previously, this is a function of the Modulation Technique and the desired BER. A graph of E_b/N_0 vs BER is shown in Figure 2. For the case at hand, the modulation technique is OFSK. For 10^{-6} BER:

$$E_b/N_0 = 14.2\text{dB} = 26.3 \quad (\text{EQ.8})$$

$$\text{SNR} = (E_b/N_0) * (R/B_T) \quad (\text{EQ.9}) \\ = 26.3 * (40\text{kbps} / 80\text{kHz}) \\ = 11\text{dB}$$

$$P_{rx} = \text{Receiver Noise Floor} + \text{SNR} \quad (\text{EQ.10}) \\ = -111\text{dBm} + 11\text{dB} \\ = -100\text{dBm}$$

Example 1: Link Calculation

Propagation loss (L_{fs}) can be computed as:

$$L_{fs} = 20 \times \log_{10}(4 * \pi * D/\lambda) \quad (\text{EQ.11}) \\ = 20 \times \log_{10}(4 * \pi * 5 \text{ meters}/0.33 \text{ meters}) \\ = 46\text{dB}$$

Note: λ is the free space wavelength at the carrier frequency

$$\lambda = c/f \\ = 3 \times 10^8 \text{ms} / 900\text{MHz} \\ = 0.33 \text{ meters}$$

Finally, some assumption must be made about transmit and receive antenna gain values. For a simple dipole antenna, an assumption of 0dB gain is reasonable. This number will be taken for the gain of both the transmit antenna gain (G_{tx}) and receive antenna gain (G_{rx}). Now, the required transmitter power (P_{tx}) can be computed:

$$P_{tx} = P_{rx} - G_{tx} - G_{rx} + L_{fs} + \text{Fade Margin} \quad (\text{EQ.12}) \\ = -100\text{dBm} - 0\text{dB} - 0\text{dB} + 46\text{dB} + 30\text{dB} \\ = -24\text{dBm}$$

Example 1: Conclusions

This exercise shows that the wireless modem link can be reliably served by an OFSK radio operating at 900MHz using as little as -24dBm transmit power. FCC regulations permit

transmission of up to -1.25dBm in the unlicensed bands without requiring spread spectrum modulation. However, as mentioned above, the 900MHz band is becoming crowded. This is particularly true for consumer application due to the proliferation of cordless telephones. If this is considered a major problem, the above analysis can easily be re-evaluated assuming a carrier frequency in other unlicensed bands such as 2.4GHz, or even 5GHz.

In addition to the analysis of the radio link itself, there are other considerations beyond those mentioned here. These include the suitability of the modem protocol to packet mode transmission, synchronization of data rates, etc. The foregoing discussion focused on the link analysis and is by no means exhaustive. It is intended to illustrate top level trades involving data rate, range, and choice of modulation.

Example 2: Wireless USB - An Ideal Application for PRISM

Having shown that PRISM is not the optimal choice for a short-haul, low bit rate wireless link such as the wireless modem described above, a more suitable application will now be explored. Universal Serial Bus (USB) is rapidly replacing the serial port on personal computers. USB provides high speed flexible interconnectivity between a PC and its peripherals. Despite its flexibility, USB has a range limitation of 5 meters.

USB has two modes of signaling. The full speed signaling rate is 12Mbps, while the low rate is 1.5Mbps. The low speed rate is designed to support devices such as mice and keyboards. However, a radio capable of providing 1.5Mbps throughput could be used in a wireless hub application, though it could not support the full hi-speed rate of 12Mbps. A wireless hub could support bulk transfers, and possibly isochronous applications such as wireless audio and MPEG1 video if rate buffering were available at the transmit side of the link.

In this example, a wireless digital link capable of 1.5Mbps throughput at up to 100 feet indoors is desired. As in the previous example, a somewhat higher data rate will be required in order to accommodate framing, overhead, and checksum for the wireless link. Typically, throughput is about 70% to 75% of peak data rate. Therefore, the required data rate for the wireless link is roughly 2Mbps.

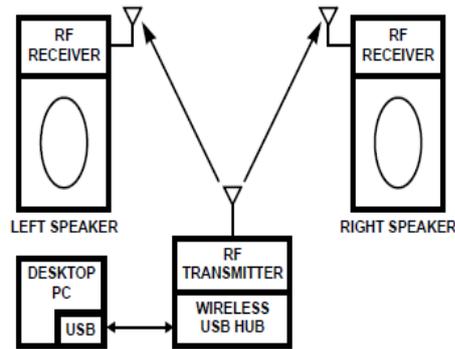


FIGURE 11. WIRELESS USB LINK

Example 2: Requirements

Data Rate = 2Mbps (1.408Mbps + framing, overhead, checksum)

Range = 30 meters indoors (100 feet)

Desired BER = 10^{-6}

Example 2: Should I Use a Spread Spectrum Radio?

In the previous example, spreading was not required. However, there are a couple of major differences with this example. The data rate is much higher and the range is a farther. Therefore, due to FCC restrictions on transmitted power for non-spread spectrum transmitters in the unlicensed bands, the non-spread OFSK radio described in Example 1 above will not be capable of meeting this far more stringent application. By contrast, Intersil's PRISM radio was designed specifically for such demanding applications. It employs spread spectrum techniques and can radiate up to 1W of RF power according to FCC regulations (FCC 15.247).

Example 2: Frequency Selection

As described previously, there are several bands allocated for unlicensed operation. There is spectrum at 902-928MHz. However, this band is getting pretty crowded. Another consideration is the limited bandwidth. There is only 26MHz in this band. A better choice would be the 2.400 - 2.483GHz. There is less radio traffic in this band (although there is potential interference from microwave ovens), and the total available bandwidth is 83MHz. In addition, this frequency band is approved for unlicensed operation in the U.S., Europe, and Japan.

Example 2: Modulation Technique

PRISM utilizes Differential Binary Phase Shift Keyed (DBPSK) modulation to transmit data at up to 1Mbps, and Differential Quadrature Phase Shift Keyed (DQPSK) modulation to transmit data up to 2Mbps. The main advantage of DQPSK is spectral efficiency. The null-to-null bandwidth for a DQPSK radio is about the same as the data rate (R).

Example 2: System Bandwidth and Noise Floor

For 2Mbps, the occupied bandwidth of a PRISM transmitter would be 22MHz due to spreading. Due to the 11:1 ratio between the chip rate (C) and the data rate (R), the radio is transmitting 22Mcps. This results in an occupied bandwidth of 22MHz (see Figure 7). However, after the de-spreading at the receiver, the bandwidth at baseband would be restored to 2MHz (see Figure 8). It is important to note that although PRISM is a spread spectrum radio, the noise floor is computed using the de-spread bandwidth:

$$\begin{aligned} \text{Noise} &= \text{kTB} && \text{(EQ. 13)} \\ &= 1.38 \times 10^{-23} \text{ J/K} \times 290\text{K} \times 2,000,000 \text{ s}^{-1} \\ &= 4 \times 10^{-12} \text{ mW} \\ &= -113\text{dBm} \end{aligned}$$

PRISM has a receiver noise figure of 7dB. The receiver noise floor is then:

$$\begin{aligned} \text{Rx Noise Floor} &= -111\text{dBm} + 7\text{dB} && \text{(EQ. 14)} \\ &= -104\text{dBm} \end{aligned}$$

From Figure 1, the free space path loss at 100 feet for indoor propagation may be determined. This value is 80dB. DQPSK is an efficient modulation technique. The required E_b/N_0 to achieve a 10^{-6} BER is 11dB. The required signal-to-noise ratio (SNR) and receiver sensitivity (P_{rx}) can now be determined:

$$E_b/N_0 = 11\text{dB} = 12.7 \quad \text{(EQ. 15)}$$

$$\begin{aligned} \text{SNR} &= (E_b/N_0) * (R/BT) && \text{(EQ. 16)} \\ &= 12.7 * (2\text{Mbps} / 2.0\text{MHz}) \\ &= 11\text{dB} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_{rx} &= \text{Receiver Noise Floor} + \text{SNR} && \text{(EQ. 17)} \\ &= -104\text{dBm} + 11\text{dB} \\ &= -93\text{dBm} \end{aligned}$$

One of the characteristics of Direct Sequence Spread Spectrum (DSSS) radios such as PRISM is reduction in the effects of multipath. If the indirect signal is delayed by more than a chip period, it will appear to the receiver as uncorrelated random noise, and will not cancel the direct signal. Therefore, an allocation of 30dB is an even more

conservative assumption for fade margin. Transmit and receive antenna gain are unchanged from the previous example (0dB). Using this data, the link budget may now be recalculated:

$$\begin{aligned} P_{tx} &= P_{rx} - G_{tx} - G_{rx} + L_{fs} + \text{Fade Margin} && \text{(EQ. 18)} \\ &= -93\text{dBm} - 0\text{dB} - 0\text{dB} + 80\text{dB} + 30\text{dB} \\ &= 17\text{dBm} \end{aligned}$$

FCC regulations permit DSSS systems to transmit up to 1W (or 30dBm). The PRISM Radio chip set provides +18dBm radiated power, which is ideal for this application. In addition, the DSSS waveform provides an additional 10dB of rejection of potential jammers, such as microwave ovens, arc welders, and other industrial machinery.

Example 2: Conclusions

PRISM is an ideal solution for high bit rate (up to 2Mbps) mobile data transmission. In addition to its robust waveform, it features IEEE 802.11 compliant operation. It has a Carrier Sense Multiple Access collision avoidance feature which allows multiple users to share the same RF channel. The programmable synthesizer allows for the collocation of several channels to accommodate even more users. The highly integrated chip set provides a complete Antenna-to-Bits solution.

References

For Intersil documents available on the internet, see web site www.intersil.com/
Intersil AnswerFAX (321) 724-7800.

- [1] *Modern Communications Systems*, Couch, Leon W., Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, NJ, 1995. (ISBN 0-02-325286-3)
- [2] *Digital Communications Systems*, Peebles, Peyton Z., Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, NJ, 1987. (ISBN 0-13-211970-6)
- [3] *Mobile Cellular Telecommunications Systems*, Lee, William C. Y., McGraw-Hill, New York, NY, 1989 (ISBN 0-07-037030-3)
- [4] *Digital Communications*, Proakis, John G., Second Edition, McGraw-Hill, New York, NY, 1989 (ISBN 0-07-050937-9)
- [5] *Spread Spectrum Systems*, Dixon, Robert C., Third Edition, John Wiley & Sons, New York, NY, 1994 (ISBN 0-471-59342-7)

All Intersil semiconductor products are manufactured, assembled and tested under ISO9000 quality systems certification.

Intersil semiconductor products are sold by description only. Intersil Corporation reserves the right to make changes in circuit design and/or specifications at any time without notice. Accordingly, the reader is cautioned to verify that data sheets are current before placing orders. Information furnished by Intersil is believed to be accurate and reliable. However, no responsibility is assumed by Intersil or its subsidiaries for its use; nor for any infringements of patents or other rights of third parties which may result from its use. No license is granted by implication or otherwise under any patent or patent rights of Intersil or its subsidiaries.

For information regarding Intersil Corporation and its products, see web site <http://www.intersil.com>