

ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO

FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

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

**“Estudio de Expansión Celular con Tecnología CDMA2000 en
la banda 450MHz en las Zonas Rurales del Ecuador”**

Sonia Isabel Díaz Muñoz

QUITO-ECUADOR

2006

CERTIFICACIÓN

Por medio de la presente certificamos que el proyecto de grado para la obtención del título en Ingeniería Electrónica titulado “Estudio de Expansión Celular con Tecnología CDMA2000 en la banda 450MHz en las Zonas Rurales del Ecuador” fue desarrollado en su totalidad por la señora SONIA DIAZ MUÑOZ.

Atentamente,

Ing. Carlos Usbeck
DIRECTOR

Ing. Fabián Sáenz
CODIRECTOR

AGRADECIMIENTO

En primer lugar agradezco a Dios por estar siempre a mi lado guiándome por el camino correcto y dándome fuerzas, al Director y Codirector del presente proyecto, a todos mis compañeros de la SENATEL sobretodo al Ing Byron Pabón por brindarme sus conocimientos, su tiempo y su experiencia, agradezco a mi familia por su comprensión apoyo y ayuda, por que siempre creyeron en mi, ya que ellos han sido la fuerza durante toda mi vida, me han impulsado a alcanzar todas las metas que me he propuesto, gracias a todas las personas que me quieren y quieren lo mejor para mi.

DEDICATORIA

Este trabajo esta dedicado en primer lugar a Dios, a mi gran familia, a mi Madre que es la luz en mi camino, que ha sabido inculcar en mi buenos valores y sobretodo fortaleza para luchar por lo que me propongo, es mi ejemplo y es gracias a su dedicación incansable que he logrado este anhelado objetivo, a mi hijo que es el impulso de mi vida y la alegría que me llena día a día , a mi querido esposo Iván por su amor total, su apoyo y comprensión en todo momento, a Gloria mi segunda madre que siempre estuvo para mi, supo comprenderme, aconsejarme y guiarme.

PRÓLOGO

Este estudio muestra el análisis de una tecnología innovadora orientada a dar comunicación en las zonas rurales, denominada CDMA450, su principal objetivo es promover el Servicio Universal en áreas con una densidad telefónica baja o inexistente, lo que contribuirá a acortar la brecha digital en Ecuador, que hoy por hoy es la más grande entre los países Latinoamericanos, dicho estudio será una buena herramienta para la SENATEL al momento de realizarse el estudio para la concesión de frecuencias en la banda de 450MHz para telefonía inalámbrica fija.

En el primer capítulo se presenta un análisis acerca de la regulación del Servicio Universal y su aplicación en Ecuador, ya que es este concepto en el que se enmarca el tema propuesto, debido a sus características y su orientación a zonas con una densidad telefónica muy baja, por lo que su implementación debe ser viabilizada a través del FODETEL (Fondo de Desarrollo de las Telecomunicaciones).

En el segundo capítulo se analizará las evoluciones que ha tenido el estándar IS-95, así como conceptos básicos que están presentes en todos los sistemas móviles, como el dimensionamiento de la Red, los equipos que conforman un enlace radioeléctrico, etc.

En el tercer capítulo se analizará la tecnología CDMA2000 WLL, que es considerada una plataforma de Acceso Universal y es la que generalmente se aplica alrededor del mundo para proveer telecomunicaciones a las zonas rurales. Se analizará la topología de red de la misma, así como las especificaciones técnicas y los costos de los equipos que se requieren.

En el cuarto capítulo se analizará la ocupación del espectro radioeléctrico en la banda de 450MHz, apoyándose en las bases de datos de la SENATEL, se analizará además ciertos índices socioeconómicos como el Valor Agregado Bruto de las Telecomunicaciones, con el

objetivo de determinar las localidades en las que se podría brindar la tecnología, después de esto se escogerá un cierto número de ellas, en las que se aplicará un modelo de propagación con las especificaciones técnicas requeridas a través de una simulación con el software utilizado en la DGER¹, para concesión de frecuencias.

En el quinto capítulo se presentan conclusiones y recomendaciones recogidas a través del estudio, las que pueden contribuir con ideas a los lectores del mismo.

¹ Dirección de Gestión del Espectro Radioeléctrico

CAPITULO 1

INTRODUCCIÓN	1
1.1 ANTECEDENTES	1
1.2 ORGANISMOS DE REGULACIÓN	2
1.3 FONDO DE DESARROLLO DE LAS TELECOMUNICACIONES EN ÁREAS RURALES Y URBANO MARGINALES (FODETEL)	4
1.3.1 Marco legal.....	5
1.3.2 Principios del FODETEL.....	6
1.3.3 Estructura del FODETEL.....	7
1.4 PLAN DE SERVICIO UNIVERSAL (PSU)	8
1.4.1 Objetivos del PSU.....	9
1.4.2 Sociedad de la Información.....	10
1.4.3 Acceso Universal y Servicio Universal.....	10
1.4.4 Campo de acción del Plan de Servicio Universal.....	11
1.4.5 Obligación del Servicio Universal (OSU).....	12
1.4.6 Políticas OSU.....	12
1.4.7 Concesión de títulos habilitantes en áreas rurales.....	13
1.4.7.1 Cánones de reglamentación y concesión de licencia.....	14
1.4.8 Neutralidad Competitiva.....	15
1.4.8.1 Brecha de Eficiencia de Mercado.....	17
1.4.8.2 Brecha de Acceso.....	17
1.4.9 Factores para estimar la capacidad de pago de los mercados rurales.....	19
1.4.10 Dimensiones del Mercado Rural.....	19
1.4.10 Interconexión.....	20
1.4.10.1 Interconexión en Ecuador.....	22
1.5 FINANCIAMIENTO DEL PLAN DE SERVICIO UNIVERSAL (PSU)	23
1.5.1 Ingresos destinados al FODETEL por OSU.....	23
1.5.2 Convenios Realizados.....	24
1.5.2.1 Convenio Secretaría Nacional de Telecomunicaciones SENATEL–Andinatel S. A. y Pacifictel S.A.....	24
1.5.2.2 Convenio de Cooperación entre el CONATEL y el Municipio del Distrito Metropolitano de Quito.....	25
1.5.2.3 Convenio de Cooperación Interinstitucional entre el CONATEL y el Municipio de Loja.....	26
1.5.2.4 Convenio de Cooperación entre el CONATEL y la muy Ilustre Municipalidad de Guayaquil.....	26
1.5.2.5 Convenio de Cooperación Institucional entre el Consejo Nacional de Telecomunicaciones CONATEL y la Universidad Técnica de la Universidad de Loja UTPL.....	27
1.5.2.6 Convenio de cooperación entre el Consejo Nacional de Telecomunicaciones CONATEL y la Escuela Superior Politécnica del Litoral ESPOL.....	27
1.5.3 Costos del Servicio Universal.....	28
1.6 CRITERIOS PARA LA SELECCIÓN DE PROYECTOS	29
1.6.1 Determinación del importe de subvención.....	30
1.6.2 Tipos de proyectos a financiar.....	31
1.6.3 Criterios de Evaluación.....	32
1.6.3.1 Plan de ejecución.....	34
CAPITULO II	36
EVOLUCIÓN DE LAS REDES CDMA	36
2.1 INTRODUCCIÓN	36
2.2 TECNOLOGIAS DE ACCESO MÚLTIPLE	36
2.2.1 Primera Generación (1G).....	36
2.2.2 Segunda Generación.....	37
2.2.3 Generalidades de las técnicas de acceso múltiple.....	38
2.3 DIMENSIONAMIENTO DE SISTEMAS MÓVILES	39
2.3.1 Tráfico telefónico.....	40
2.3.2 Clasificación de las Redes.....	41
2.4 CONCEPTOS BÁSICO DE SISTEMAS MOVILES	44
2.4.1 Concepto de radio celular.....	44
2.4.2 Tipos de células.....	47
2.4.3 División Celular.....	48

2.4.4 Elementos básicos de los sistemas móviles	50
2.4.5 Consecuencia de la Movilidad	52
2.5 SISTEMA CDMA IS-95.....	55
2.5.1 Características de CDMA.....	55
2.5.2 Protocolos	56
2.5.3 Sistema IS-95 descripción	57
2.5.3.1 Fuente (Destino).....	57
2.5.3.2 Codificación de Fuente.....	57
2.5.3.3 (De)Codificación de Canal.....	58
2.5.3.4 Acceso Múltiple CDMA	59
2.5.4 Códigos PN.....	61
2.5.5 Funciones de Walsh.....	62
2.5.6 Secuencia directa DS-CDMA	63
2.5.5.1 Ganancia de procesamiento.....	66
2.5.7 Sistema IS-95 A	67
2.5.7.1 Handoffs en CDMA.....	67
2.5.7.2 Arquitectura de una red IS-95A.....	68
2.5.8 Sistema IS-95B	69
2.5.8.1 Interfaz de aire IS-95B (2.5G)	70
2.5.8.2 Enlace directo	71
2.5.8.3 Enlace Reverso	74
2.5.9 Modulación.....	76
2.5.10 Control de potencia	77
2.5.10 Asignación de Recursos	78
CAPITULO III	81
ARQUITECTURA CDMA 2000 EN LA BANDA DE 450MHZ.....	81
3.1 INTRODUCCIÓN	81
3.2 ANTECEDENTES.....	81
3.3 SISTEMA CDMA2000	83
3.3.1 Arquitectura de red cdma2000	85
3.3.3 Red de acceso de radio	89
3.3.4 Topología Propuesta	93
3.3.5 Servicios.....	95
3.3.6 Descripción de la red.....	95
3.3.7 Control de Potencia.....	99
3.4 EQUIPAMIENTO	103
3.4.1 Terminal Inalámbrico Fijo	103
3.4.2 Estación Radio Base (BTS).....	105
3.4.3 Controlador de la Estacion Base (BSC/PCF)	106
3.4.4 PCFS (Packet Control Funcion Subsystem).....	107
3.4.5 Red conmutada de paquetes de datos PDSN	109
3.4.6 Autorización, Autenticación y Tarifación AAA (PDSS).....	109
3.4.7 H100 HA Agente Local.....	111
3.4.8 Antenas	112
RANGO DE FRECUENCIA	113
3.5 COTIZACIÓN DE LOS EQUIPOS.....	114
CAPITULO IV	117
ANÁLISIS DEL ESPECTRO RADIOELÉCTRICO EN LA BANDA 450MHZ.....	117
4.1 INTRODUCCIÓN	117
4.1.2 Estandarización de la banda 450MHz.....	118
4.2 OCUPACIÓN DE LA BANDA 450MHZ EN EL DEL ECUADOR	119
4.2.1 Plan Nacional de Frecuencias	121
4.2.2 Ventajas de la banda de 450MHz	123
4.2.3 Canalización de la Banda	124
4.3 SITUACIÓN DE LOS SERVICIOS DE LAS TELECOMUNICACIONES EN ECUADOR.....	126
4.3.1 Operadoras de Telefonía Fija	127
4.3.2 Operadoras de Telefonía Móvil	130

4.3.3 Acceso a Internet	132
4.4 SITUACIÓN DE LAS TELECOMUNICACIONES EN LAS ZONAS RURALES DEL ECUADOR	132
4.4.1 Criterios para la selección de las zonas rurales	134
4.4.1.1 Análisis de índices socioeconómicos	136
4.5 MODELO DE PROPAGACIÓN	141
4.5.1 Dimensionamiento de la Red	142
4.5.2 Determinación de la ubicación de las radiobases	143
4.5.3 Link Budget	144
4.5.4 Implementación en el simulador	153
4.5.5 Procedimiento	153
CAPITULO V	161
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	161
5.1 CONCLUSIONES.....	161
5.2 RECOMENDACIONES.....	163
BIBLIOGRAFIA	165
ÍNDICE DE FIGURAS	168
DECT. DIGITAL ENHANCED CORDLESS TELECOMMUNICATIONS, TELECOMUNICACIONES DIGITALES INALÁMBRICAS AVANZADAS; ESTÁNDAR DE TECNOLOGÍA DE ACCESO INALÁMBRICO	176

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 ANTECEDENTES

El acceso a la información digital en la actualidad aumenta la productividad, agiliza la producción, incentiva la cultura, facilitando de esta manera la vida de las personas, acercándolas unas a otras alrededor del mundo. Los accesos a la tecnología hasta hace poco tiempo eran exclusivos del mundo de los negocios y en varios casos eran calificados como no accesibles, se los encontraba generalmente en zonas urbanas donde el implementarlas resultaba económicamente rentable, esto conlleva al incremento del abismo social, ya que existen zonas, sobretodo rurales, en las que no llega ningún tipo de servicio de telecomunicaciones. El avance tecnológico y la visión de un mundo futuro en donde el “conocimiento” es el factor fundamental del desarrollo de los pueblos hoy en día ha cambiado, las telecomunicaciones se incluyen dentro de las necesidades básicas primarias, es por esto que se ha insistido en crear a nivel mundial un marco regulatorio que permita lograr un mayor grado de accesibilidad a los servicios de telecomunicaciones.

El Estado juega un rol importantísimo, ya que es él quien debe velar por proveer dichos servicios, debiendo considerar para esto temas como la baja densidad poblacional en muchas zonas de los países, el elevado costo de hacer llegar los servicios de telecomunicaciones a las zonas remotas, la necesidad de contribuir al desarrollo económico de todas las regiones y el fortalecimiento de la identidad nacional, todo esto agrupado en un concepto que se conoce como el Servicio Universal.

Hoy en día la banda ancha (Tx de datos a alta velocidad) es una buena alternativa para aumentar la cobertura en las zonas excluidas, proporcionándoles muchas ventajas como: acceso a Internet en centros comunitarios, entre otras. La digitalización tiene grandes alcances, escuelas, colegios, bibliotecas, centros de salud, y seguridad pública son algunas de las entidades que se verían mayormente beneficiadas.

CDMA2000 en la banda de 450MHz es una tecnología destinada a proveer servicios de telecomunicaciones en zonas rurales, convirtiéndose en una solución muy competitiva.

Dicha tecnología conlleva un sin número de ventajas tanto técnicas como económicas, ofreciendo calidad de servicio para los usuarios, cubriendo la necesidad de acelerar la transición de acceso al Servicio Universal en las áreas rurales, acortando la brecha tecnológica a costos asequibles.

En este capítulo se hará un estudio de los aspectos técnicos y regulatorios del Servicio Universal, en el que se enmarca la tecnología CDMA en la banda de 450MHz. Se hará un análisis de como los organismos reguladores encargados de la planificación de los proyectos ha desarrollarse en zonas rurales, determinan cuales son los servicios que deberían tener un alcance universal y de accesibilidad, así como el subsidio que se otorga a los operadores, el financiamiento que se maneja para implementar los diferentes proyectos, aspectos relevantes a este concepto y de cómo se ha aplicado en el Ecuador, para crear conciencia de lo importante que es apoyar a tecnologías que contribuyen a llevarnos al camino de la sociedad de la información.

1.2 ORGANISMOS DE REGULACIÓN

En el Ecuador existen cuatro organismos de regulación y control en el sector de las telecomunicaciones².

- Consejo Nacional de Telecomunicaciones (CONATEL)
- Secretaría Nacional de Telecomunicaciones (SENATEL)
- Superintendencia de Telecomunicaciones (SUPTTEL)
- Consejo Nacional de Radiodifusión y Televisión (CONARTEL)

² Los organismos reguladores fueron creados mediante la Ley Especial de Telecomunicaciones, Tomo I, Págs. 9-12, Corporación de Estudios y Publicaciones.

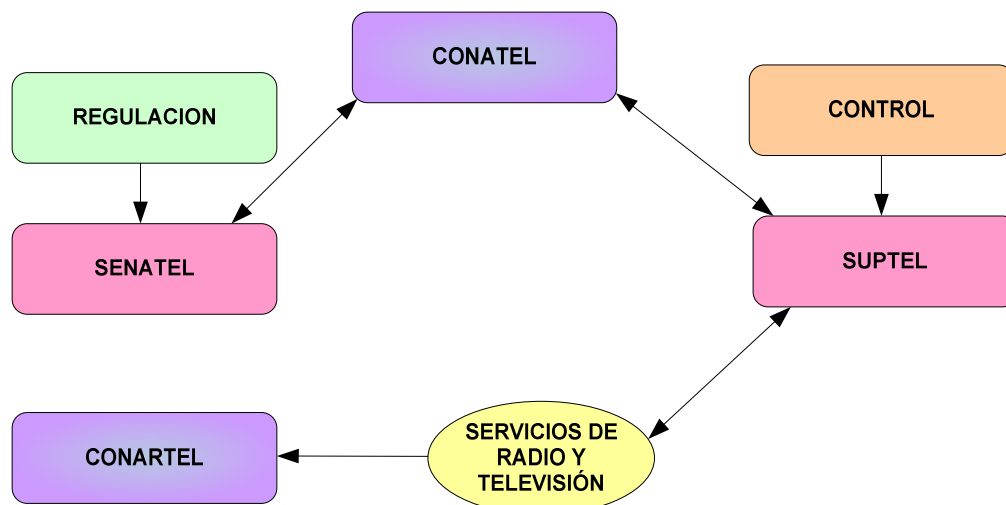


Figura. 1. 1. Organismos de Regulación

CONATEL. Entre las principales funciones que cumple el Consejo Nacional de Telecomunicaciones, es el de dictaminar las políticas a seguirse en el país, referente al sector de las Telecomunicaciones, establece términos, condiciones, plazos para otorgar concesiones y autorizaciones del uso de frecuencias, explotación de los servicios finales y portadores de telecomunicaciones, es el encargado de aprobar el Plan Nacional de Frecuencias; aprobar las normas de homologación, regulación y control de equipos, aprobar el financiamiento y los presupuestos del CONATEL, de SENATEL, y de la SUPTEL; además representa al Estado ecuatoriano en la Unión Internacional de Telecomunicaciones.

Está integrado por su Presidente, el Secretario Nacional de Telecomunicaciones, el Superintendente de Telecomunicaciones, un representante de las Cámaras de la Producción, un representante de la Vicepresidencia de la República y el Jefe del Comando Conjunto de las Fuerzas Armadas.

SUPTEL. Es el organismo de control del sector de las telecomunicaciones; entre las principales funciones que cumple, son las de realizar las mediciones y determinación de interferencias, así como el control de características técnicas y calidad de servicio. Al ser el ente de control debe determinar el uso indebido de frecuencias y operación no autorizada de las mismas, además tiene la potestad de juzgar y sancionar, en el caso de que los operadores cometan alguna infracción, además gestiona y administra el Espectro Radioeléctrico de los sistemas de radiodifusión y televisión

CONARTEL. Es el organismo que dicta las políticas a seguirse en el sector de radiodifusión y televisión, en conjunto con la SUPTEL aprueban o niegan la implementación de estaciones de radiodifusión, además administra y gestiona el espectro radioeléctrico atribuido a los servicios de radiodifusión sonora.

El consejo está integrado por su Presidente, el Ministro de Educación y Cultura, un delegado de las Fuerzas Armadas, el Superintendente de Telecomunicaciones, el Presidente de la Asociación Ecuatoriana de radiodifusión y televisión, y por el Presidente de la Asociación de Canales de Televisión del Ecuador.

SENATEL. Es el organismo que ejecuta las políticas dictadas por el CONATEL, desarrolla los reglamentos y normas técnicas que más tarde serán aplicados en los diversos servicios de telecomunicaciones, es el encargado de elaborar normas de homologación, regulación y control de equipos de servicios de telecomunicaciones, las cuales pone a consideración del CONATEL.

El organismo encargado de proveer servicios de telecomunicaciones en zonas rurales y urbano marginales, es el **Fondo de Desarrollo de las Telecomunicaciones (FODETEL)**, el cual está bajo la dependencia de la SENATEL. Se ha constituido como un Fondo de Servicio Universal; es decir, este organismo regulador dicta políticas y crea normas orientadas al desarrollo de las telecomunicaciones en áreas que carecen de ellos.

1.3 FONDO DE DESARROLLO DE LAS TELECOMUNICACIONES EN ÁREAS RURALES Y URBANO MARGINALES (FODETEL)

A pesar del reciente despliegue de las telecomunicaciones, alrededor del mundo, aún existen varias zonas a las que no llega ningún tipo de servicio de telecomunicaciones, lo que se debe a varios factores, uno de los más importantes es que la empresa privada no participa en estos proyectos, por ser considerados no rentables, incrementando el desnivel de acceso a las telecomunicaciones. Es por esto que los gobiernos se han visto obligados a tratar de mermar este desnivel, creando en algunos casos fondos de Servicio Universal, los cuales contribuyen a promover la participación del sector privado para la expansión de las redes en sectores rurales.

Los Fondos de Servicio Universal intervienen cuando no hay la suficiente inversión en el mercado rural, más no pretenden reemplazar incentivos ni inversiones privadas, ya que no deben interferir con las fuerzas del mercado.

Los Fondos de Servicio Universal se constituyen en un instrumento que puede utilizarse para intensificar los esfuerzos a fin de que la empresa privada pueda proporcionar acceso y/o Servicio Universal.

1.3.1 Marco legal

La Constitución Política del Ecuador³ establece que es responsabilidad del Estado la provisión de servicios públicos, como son las Telecomunicaciones, los que pueden ser prestados directamente o por delegación a empresas mixtas o privadas, mediante concesión, capitalización, o cualquier otra forma contractual, de acuerdo con la Ley, y basándose en la deficiencia de los servicios de telecomunicaciones en áreas rurales y urbano marginales, en el año 2000 la Ley para la Transformación Económica del Ecuador⁴, delega al Consejo Nacional de Telecomunicaciones CONATEL, la creación del **Fondo para el Desarrollo de las Telecomunicaciones en las Áreas Rurales y Urbano Marginales FODETEL**. El desarrollo de las Telecomunicaciones en el Ecuador ha cobrado gran importancia dentro de la política de gobierno, es por esto que en el año 2001 se crean varias políticas en pos de expandir las nuevas tecnologías.

El Artículo 58 de la Ley para la Transformación Económica del Ecuador establece que “todos los servicios de telecomunicaciones se brindarán en régimen de libre competencia, y dispone al Consejo Nacional de Telecomunicaciones, en uso de sus facultades, expedir el Reglamento pertinente, el cual deberá contener las disposiciones, evitando los monopolios, prácticas restrictivas o abuso de posición dominante, y la competencia desleal, garantizando la seguridad nacional y promoviendo la eficiencia, universalidad, accesibilidad, continuidad y la calidad del servicio”. Lo que es una base fundamental en las políticas del FODETEL.

Asimismo mediante Resolución No. 380-17-CONATEL-2000, se estableció como política de Estado el acceso/servicio universal, la difusión de Internet como herramienta

³ Constitución política del Ecuador Artículo 249

⁴ Artículo 10 de la Ley Reformatoria a la Ley Especial de Telecomunicaciones

para el desarrollo cultural, social, político y económico en las zonas rurales y urbano marginales del país, en coordinación con el Fondo de Desarrollo de las Telecomunicaciones.

Por otro lado mediante Resolución No. 543-21-CONATEL-2000, se crea e incorpora al orgánico estructural y funcional de la Secretaría Nacional de telecomunicaciones, la **Dirección de Gestión del FODETEL, para la Administración del Fondo de Desarrollo de las Telecomunicaciones**, bajo la dependencia administrativa y funcional del Secretario Nacional de Telecomunicaciones.

1.3.2 Principios del FODETEL

Este ente regulador realiza sus planes de acción basando su filosofía en los siguientes principios:

Transparencia. Los fondos utilizados para impulsar el Servicio Universal deberán ser presentados al público continuamente, expuestos a comentarios y sugerencias.

No discriminación. La distribución del financiamiento no debe discriminar servicios, país de origen, clase de clientes, tecnología utilizada, clase de servicio ofrecido o enrutamiento utilizado para la prestación del servicio.

Neutralidad competitiva. Los mecanismos de financiamiento de Servicio Universal y sus regulaciones no deben beneficiar o perjudicar a un prestador sobre otro, ni privilegiar tecnologías, generalmente se estipula cláusulas acerca de la competencia dentro de los contratos de concesión de títulos habilitantes, los cuales se explican más adelante .

Tarifas razonables y justas. Las tarifas son consideradas razonables y justas cuando se encuentran basadas en los costos, considerando además el poder adquisitivo de los usuarios finales.

1.3.3 Estructura del FODETEL

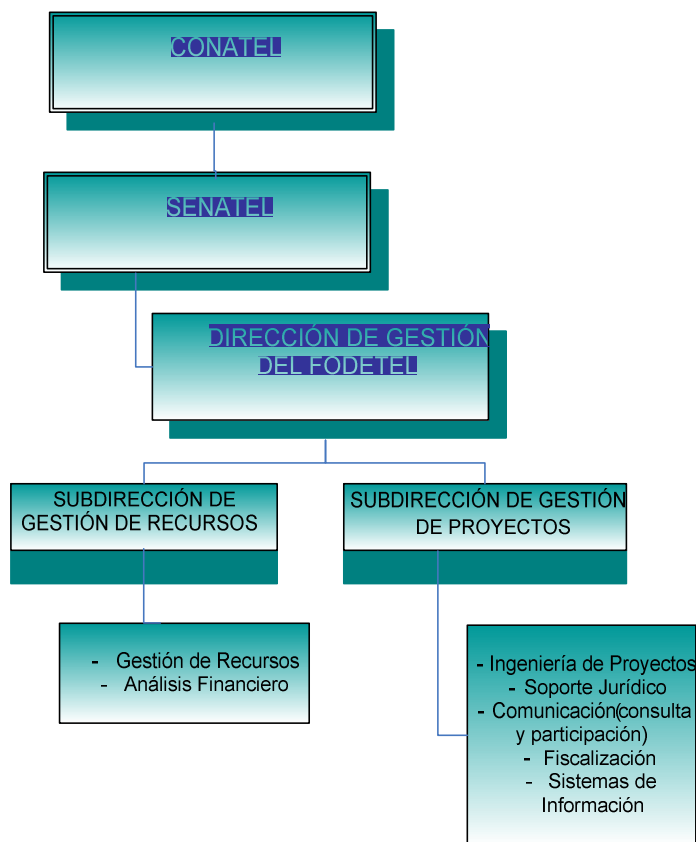


Figura. 1. 2. Estructura del FODETEL

Como se puede apreciar en la figura 1.2 el FODETEL se subdivide en dos subdirecciones: Subdirección de Gestión de Proyectos y la Subdirección de Gestión de Recursos.

Las funciones de la **Subdirección de Gestión de Proyectos** son:

- Implementación del Plan de Servicio Universal FODETEL
- Programas de puntos de acceso a las TIC
- Telecentros comunitarios polivalentes TPCs
- Seguridad ciudadana (Desastres naturales, accidente y defensa civil)
- Análisis de proyectos de terceros.
- Elaboración de perfiles de proyectos
- Fiscalización de proyectos y de campo.
- Planitu (Planificación de redes asistida por computador)

- Sistema de información geográfica del FODETEL (GIS)

Las funciones de la **Subdirección de Recursos** son:

- Gestión de recuperación.
- Elaboración de nueva reglamentación (Propuesta de normas técnicas y contratación del fondo).
- Búsqueda de recursos para proyectos del FODETEL
- Depuración del marco normativo y regulatorio.
- Plan de comunicación, consulta y participación.
- Administración financiera de los fondos.
- Seguimiento y administración de convenios.

Es importante destacar la gestión que el FODETEL está realizando en cuanto a la implementación del Plan de Servicio Universal, el cual nació de constatar la ausencia de los servicios públicos de telecomunicaciones en las regiones más apartadas del territorio nacional, con las características de centros rurales con un bajo desarrollo económico, lo que no permite el desarrollo armónico de los pueblos.

Entre las cosas en las que se concentra el FODETEL, es en la creación de Telecentros Polivalentes, los que brindan acceso a las telecomunicaciones en zonas estratégicas; es decir que estén a una distancia razonable de la población de los alrededores, los telecentros son modelos basados en la oferta y la demanda, es decir que dependen de las tecnologías y servicios que estén en condiciones de ofrecer al público. Sin embargo en su mercado local, el telecentro depende también de la demanda de aplicaciones que atenderán las necesidades de la comunidad.

1.4 PLAN DE SERVICIO UNIVERSAL (PSU)

La oportunidad de proveer Servicio Universal a todas las clases sociales sin discriminación alguna, sobretodo aquellos ubicados en las zonas rurales y urbano marginales, han llevado a plantear soluciones efectivas de Servicio Universal.

La poca densidad poblacional en varias zonas de nuestro país, el difícil acceso a ellas, el costo de proveerlos de tecnología ha sido un obstáculo de desarrollo en estas áreas, lo que las ha relegado de servicios básicos como telefonía y hoy en día el acceso a Internet.

“El PSU se convierte entonces en una herramienta fundamental para el acceso a las TIC, es dinámico y flexible, en él se articulan políticas, estrategias, programas y proyectos dirigidos a dotar de servicios de telecomunicaciones a la sociedad ecuatoriana en su entorno nacional subregional y global, utilizando Tecnologías de Información y Comunicación, así como garantizar el ejercicio del derecho al acceso y uso de manera justa y democrática a las TIC permitiendo así el desarrollo humano de los habitantes de la República del Ecuador.”⁵

Para definir el Plan de Servicio Universal se debe tener muy claro los objetivos que persigue, así como algunos conceptos fundamentales en los que se basa su desarrollo, y que se definen a continuación.

1.4.1 Objetivos del PSU

Los objetivos que se pretende alcanzar al efectuar el Plan de Servicio Universal son:

- Disminuir los niveles de desincorporación de grupos sociales al proceso general que conforma y consolida la nación, que se han generado por las barreras geográficas, la marginación social, etc.
- Financiar programas y proyectos destinados a instaurar o mejorar el acceso a los servicios de telecomunicaciones de los habitantes de las áreas rurales y urbano marginales, que forman parte del Plan de Servicio Universal⁶.
- Contribuir a maximizar la integración de los habitantes a una sociedad de la información dotando de infraestructura y servicio de telecomunicaciones.
- Elevar el nivel de acceso de las comunicaciones en centros educativos.
- Fomentar la promoción y desarrollo de la telemedicina, servicios de apoyo a emergencias y aumento de las condiciones de acceso a las telecomunicaciones

⁵ Plan de Servicio Universal 2003

⁶ Reglamento del FODETEL Capítulo II Art. 4

en centros hospitalarios y ambulatorios, a fin de apoyar el desarrollo de los servicios de salud

- Privilegiar a las áreas donde el acceso a los servicios de comunicaciones es inexistente o escaso.
- Promover la participación del sector privado en la ejecución de sus programas y proyectos.

1.4.2 Sociedad de la Información.

Este término es básico para iniciar este estudio, ya que el camino hacia una sociedad de la información es fundamental para alcanzar el objetivo de proveer Acceso Universal a las zonas rurales de nuestro país.

Este concepto se basa en las **Tecnologías de la Comunicación y la Información (TIC)**, las TIC son sistemas tecnológicos que reciben, manipulan y procesan información, optimizando el manejo de la misma y el desarrollo de la tecnología, unen la informática, información y comunicación, logrando así la convergencia de las tecnologías; a las TIC se las puede clasificar en tres categorías.

Tecnología de información. Utiliza las computadoras, un componente indispensable para procesar datos con ahorro de tiempo y esfuerzo en la sociedad moderna.

Tecnologías de telecomunicación. Comprenden los teléfonos (con fax) y la transmisión de señales de radio y televisión, con frecuencia a través de los satélites.

Tecnologías de redes. Con Internet como su forma más conocida, pero que también han incorporado la telefonía móvil, la tecnología de voz sobre soporte IP (VoIP), las comunicaciones satelitales y nuevas formas de comunicación.

1.4.3 Acceso Universal y Servicio Universal

Estos dos términos hacen referencia a dos propuestas diferentes, complementarias entre sí cuyas definiciones se presentan a continuación.

Servicio Universal. Es el derecho que poseen todos los hogares de un país a acceder por lo menos a un servicio de telecomunicaciones, sin perjuicio de condición económica, social o localización geográfica, con una calidad determinada y a un precio asequible.

Acceso Universal. Disponibilidad de servicios de telecomunicaciones para una comunidad o varias comunidades a una distancia aceptable con respecto a los hogares o lugares de trabajo.

Ambos conceptos forman parte de una estrategia hacia un desarrollo continuo de los servicios de telecomunicaciones, definen procesos que generan proyectos en un ámbito nacional dentro de políticas generadas por el organismo que designe el Estado. Los dos conceptos buscan dar acceso a toda la población de un país, por lo menos a un servicio de telecomunicaciones.

Las diferencias que presentan estos dos conceptos son:

- El Acceso Universal está orientado a la prestación de servicios para toda una localidad o varias comunidades en el territorio nacional, dentro de una distancia razonable, mientras que el Servicio Universal es a nivel familiar es decir orientado a cada hogar.
- El Acceso Universal da mayor prioridad al acceso de Internet y transmisión de datos, se orienta hacia comunidades; por otro lado el Servicio Universal da mayor prioridad a proveer una línea telefónica por cada familia.
- El Acceso Universal generalmente se provee a zonas rurales con baja densidad poblacional, mientras que el Servicio Universal se orienta a zonas urbano marginales.

Estos dos conceptos tienen varios aspectos en común por lo que en adelante se usará, siempre que no sea necesario diferenciarlos el término “acceso/servicio universal”.

1.4.4 Campo de acción del Plan de Servicio Universal

Es muy importante definir el campo de acción en el que se va a manejar el Fondo de desarrollo de Telecomunicaciones en cuanto al acceso/servicio universal.

Disponibilidad. Promover que todos los habitantes del territorio nacional, tengan la posibilidad de acceder a los servicios de telecomunicaciones, especialmente aquellos habitantes que viven en zonas de difícil acceso, o que tengan discapacidades físicas o necesidades sociales especiales; además, la diferencia entre zona rural y zona urbana no debe afectar la posibilidad de acceder a estos servicios.

Precios asequibles. Las tarifas son consideradas razonables y justas cuando se encuentran basadas en los costos y en el poder adquisitivo de los usuarios finales.

Accesibilidad. Todos los habitantes tienen derecho a acceder a las TIC sin importar las discapacidades personales, condiciones sociales, geográficas, etc.

Entre las principales fortalezas del PSU, está la “Obligación” que tienen las empresas que proveen servicios de telecomunicaciones de contribuir al FODETEL, lo que se conoce como la “Obligación del Servicio Universal”, a continuación se muestra una definición más clara al respecto.

1.4.5 Obligación del Servicio Universal (OSU)

Originalmente la obligación de garantizar el acceso/servicio universal se le daba a las empresas ya establecidas o incumbentes, con la premisa de que se debía considerar dar dicho servicio sin discriminación alguna, con las tarifas vigentes, ha esto se denominaba Obligación de Servicio Universal (OSU); esta buscaba subsidiar la necesidad de los servicios básicos de comunicaciones como telefonía fija, en las zonas que se hayan detectado deficiencias.

En la actualidad se entiende por Obligación de Servicio Universal a aquella que se asigna a un operador que da servicios de telecomunicaciones de acuerdo a las políticas que se haya establecido en el reglamento del FODETEL, las que se especifican en el Plan de Servicio Universal del Ecuador.

1.4.6 Políticas OSU

Dentro de las Obligaciones de acceso/servicio universal existen dos políticas fundamentales que se sigue por los organismos reguladores:

Pagar. La opción “pagar” se refiere a que el Estado a través del CONATEL determina cuales son los operadores que deben contribuir con recursos económicos al Fondo de Desarrollo de las Telecomunicaciones, dicha opción conlleva algunos riesgos si no está bien clara en el marco regulatorio, por ejemplo en Sudamérica cuando empezaron a llegar las operadoras, no se tenía un respaldo legal suficiente por lo que en la actualidad es casi imposible recuperar los dineros que no han pagado las Operadoras, por la falta de claridad al momento de firmar el contrato de concesión.

Si esta opción es manejada debidamente, puede generar grandes ingresos al capital que posee el fondo de Servicio Universal y así financiar más proyectos de desarrollo en Telecomunicaciones.

Participar. Uno de los puntos más complejos de solucionar es la inclusión de empresas privadas, ya que si bien el obligar a cumplir a las operadoras con ciertas condiciones en los contratos de concesión es una opción valedera, todo se facilitaría si la participación de todas las operadoras es activa, por esto la principal fortaleza de la opción “participar” es dar incentivos a estas empresas, para que ellas contribuyan voluntariamente en la expansión tecnológica en las zonas rurales y urbano marginales, no solo con dinero destinado a un fondo, si no con la implementación física de redes, antenas, etc., que faciliten a los habitantes del territorio nacional el acceso/servicio universal.

En el Reglamento del Fondo de Desarrollo de Telecomunicaciones, se ha establecido varias políticas que obligan a las empresas que proveen servicios de telecomunicaciones, a aportar económicamente a él, generalmente dichas obligaciones se las especifica en los contratos de concesión de cada operadora, para la concesión del título habilitante.

1.4.7 Concesión de títulos habilitantes en áreas rurales

En el Reglamento General a la ley Especial de Telecomunicaciones Reformada, se dispone al CONATEL establecer pagos especiales para las frecuencias que se usen para los servicios destinados a satisfacer necesidades de carácter social o humanitario, así como para el uso experimental y reservado, y para el desarrollo del servicio universal.

En el artículo dos del Reglamento para el Otorgamiento de Títulos Habilitantes para la Prestación de Servicios de Telecomunicaciones en Áreas Rurales se establece que: “Para la

prestación de servicios de telecomunicaciones en áreas rurales se requiere de un título habilitante otorgado por la Secretara Nacional de Telecomunicaciones previa autorización del CONATEL”.

En el mismo Reglamento se define a un Operador Rural como la “persona natural o jurídica legalmente habilitada para prestar uno o más de los siguientes servicios únicamente en áreas rurales: telefonía fija local, larga distancia nacional, larga distancia internacional, telefonía pública, servicios portadores y servicios de valor agregado”.

El CONATEL a través de la SENATEL publicará cada 5 años la nómina de las áreas rurales sujetas al otorgamiento de títulos habilitantes, y previo al otorgamiento del título habilitante de operador rural, la Secretaria Nacional de Telecomunicaciones certificará que el área se encuentra catastrada.

Para calcular las tarifas por uso de frecuencias, cuando estas sean requeridas para la prestación de servicios de telecomunicaciones en las áreas rurales, se considerará el valor del Coeficiente de Corrección β^7 , definido en el Reglamento de Derechos por Concesión y Tarifas por Uso de Frecuencias del Espectro Radioeléctrico diferenciado para las áreas rurales.

1.4.7.1 Cánones de reglamentación y concesión de licencia.

Generalmente al momento de conceder títulos habilitantes para la utilización del espectro, se cobra altos cánones para la obtención de los mismos, estos cánones pueden desalentar a los operadores que quieran proveer Servicio Universal, ya que podrían incrementar la cuantía de la subvención lo que resultaría más costoso al FODETEL, ya que los operadores se limitarían a incluir el importe de esos gravámenes en sus ofertas, para tratar de evitar esto el administrador de FODETEL debería intentar eliminar por todos los medios o reducir al mínimo los cánones que se aplica.

Otra solución sería que los operadores que ganen subastas para proveer Acceso Universal, queden exentos del pago de cánones o sólo habría que cobrarles gravámenes mínimos de recuperación de costos por la obtención de licencias o por el suministro de los servicios obligatorios designados.

⁷ Coeficiente de corrección determinado por CONATEL en base de la zona geográfica y de la necesidad de desarrollo relativo del sector de telecomunicaciones en dicha zona.

En el Plan de Servicio Universal del FODETEL, está definido que se debe realizar un análisis de competitividad del sector de las telecomunicaciones, desde el punto de vista tributario, frente a otros sectores, para llevarlo a condiciones favorables que entre otras permita eliminar el impuesto a los consumos especiales (ICE), que se aplica en la facturación al usuario por los servicios de telecomunicaciones, y la eliminación de impuesto al valor agregado (IVA) para adquirir computadoras destinadas a programas sociales.

Un aspecto importante al analizar las obligaciones de Servicio Universal y que se incluyen en los contratos de concesión de las diferentes empresas proveedoras de servicios de telecomunicaciones, es preservar la neutralidad competitiva.

1.4.8 Neutralidad Competitiva

Para lograr una competencia leal, lo primero a realizar es la creación de un Marco Regulatorio, en el cual se considere detalladamente todos los aspectos basados en la igualdad de trato hacia los operadores.

El punto decimoprimer del contrato de concesión de TELECSA S.A. trata acerca de las *reglas de competencia* en la que la Sociedad Concesionaria se compromete a no realizar directa ni indirectamente cualquier acto que signifique un abuso de posición dominante en el mercado respectivo, con el objeto de obtener alguna ventaja que impida, limite, restrinja o distorsione la libre y leal competencia entre operadoras de servicios de Telecomunicaciones, el incumplimiento de esta cláusula se sancionará de acuerdo a las Leyes Aplicables.

Este es un ejemplo de las cláusulas que el órgano regulador, en este caso la SENATEL imponen a todas las operadoras que prestan servicios de Telecomunicaciones.

Otro punto importante para promover la neutralidad competitiva es permitir la participación del sector privado, a la par con el sector público, con la intervención de un regulador totalmente independiente que coordine las acciones a tomarse, para que la competencia sea un factor dinámico dentro del mercado; en este nuevo esquema, es

importante evitar que el Estado sea al mismo tiempo juez y parte, pues el regulador no debe tener intereses creados en alguno de los operadores, por lo que en el estado actual del mercado, lo fundamental es prestar mayor atención a la equidad en las decisiones que puedan afectar el desarrollo de la competencia.

Es necesario además, que existan más de dos competidores para que la competencia sea dinámica y activa, las ventajas de precios más bajos e innovaciones más numerosas, solo se pueden conseguir con una competencia más agresiva entre varios operadores, por ejemplo en el Ecuador somos testigos de cómo la inclusión de la nueva operadora Telecsa, ha logrado que se den buenas ofertas, precios bajos, nuevos servicios, como no se había visto antes, lo cual beneficia al usuario final.

La telefonía móvil ha crecido considerablemente en los países latinoamericanos, logrando en muchos casos sobrepasar cada vez más al servicio básico de telefonía fija, se considera que esta tendencia va a seguir incrementándose a futuro, en Ecuador en la zona urbana la densidad de telefonía móvil celular (28,9%) sobrepasa a la densidad de telefonía fija (12,8%) como se muestra en la Figura 1.3. (datos desde 1996 hasta diciembre de 2004), en la gráfica se ve como la curva que representa a la telefonía móvil, tiende a crecer, sobretodo en el lapso del 2002 en adelante.

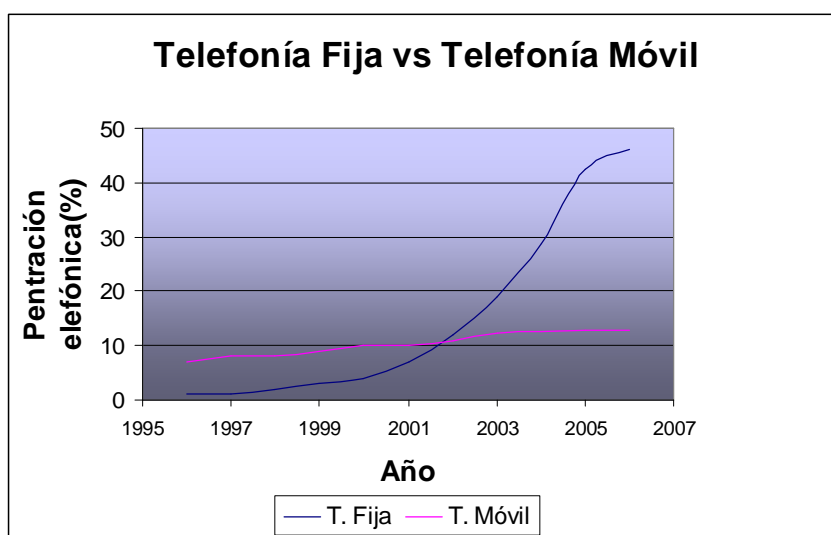


Figura. 1. 3. Telefonía Fija vs. Telefonía Móvil

Los gobiernos deben promulgar la creación de normas que permitan competir en igualdad de condiciones a los operadores de servicios que venían operando de forma independiente.

La competencia es un factor positivo en la liberación del mercado, pero esto puede conllevar a que sea orientado solamente al mercado urbano considerado rentable, y se deje desatendidas las zonas urbanas pobres y las zonas rurales por considerarlas “no rentables”, lo que es cierto solo en parte, ya que sí existen oportunidades en zonas carentes de servicios de Telecomunicaciones como lo se expondrá más adelante. El mercado en estas zonas puede tener un desarrollo económico a corto plazo si se orienta a constituirlo como una oportunidad de negocio, dichas oportunidades se designan con la expresión “mercado del Acceso Universal”.

Para lograr los objetivos que persigue una competencia neutral, debemos analizar las brechas existentes, así como la manera de acortarlas, para que este proceso sea más ágil.

1.4.8.1 Brecha de Eficiencia de Mercado

Se entiende por brecha de eficiencia de mercado al desnivel existente entre la penetración real del servicio y el nivel de penetración posible de un mercado liberalizado; también se lo puede definir como la diferencia entre los logros de los mercados en las condiciones actuales y los que se podrían conseguir si se suprimiesen los obstáculos existentes y se utilizase la reglamentación para proporcionar incentivos.

1.4.8.2 Brecha de Acceso

Se define como “brecha (o desnivel) de acceso” a la diferencia entre la **población sin servicio** y la **población que si lo recibe**, incluso cuando el mercado funciona eficazmente, dicho de otra manera, la definición de brecha de acceso nos muestra la problemática de que a pesar de poseer un mercado eficaz y funcional puede haber una parte de la población, en la cual los precios no sean asequibles.

Ambos conceptos son diferentes por lo tanto necesitan un diagnóstico individual con políticas y objetivos diferentes.

En primer lugar se debe atacar la brecha de eficiencia del mercado en la cual debe intervenir el sector privado, suministrando más servicios para ayudar a una competencia eficaz de políticas y reglamentos orientados al mercado, que establezcan una igualdad de condiciones a favor de las nuevas empresas. Por ejemplo una reglamentación eficaz orienta al mercado a crear un entorno que permita ofrecer servicios en una zona más amplia, a una

mayor población. Si se logra acortar la brecha de eficiencia del mercado, no se tendrán mayores dificultades en lograr los objetivos respecto a cerrar la brecha de acceso, en la cual es necesaria la intervención del estado para llegar a aquellos sectores que no poseen servicios de comunicaciones y ni siquiera las condiciones de un mercado liberalizado, movilizand o inversiones adicionales mediante la intervención gubernamental y en forma de subvenciones u otros incentivos especiales, logrando así estimular a los proveedores de servicios a que proporcionen a estas zonas un servicio asequible.

Solo cuando se sepa el nivel real de acceso, el FODETEL podrá contemplar la posibilidad de conceder subsidios a las operadoras que provean acceso/servicio universal; estos subsidios se denominan “subvenciones inteligentes”, las que contribuirán a dar el impulso inicial a un proyecto o un servicio con la idea de que éstos fuesen comercialmente viables.

El organismo regulador juega un papel fundamental en determinar la frontera entre brecha de eficiencia de mercado y brecha de acceso, las acciones más importantes a seguir para cubrir ambas son:

Neutralidad tecnológica. Los reguladores deberían contemplar la creación de normas y procedimientos para la concesión de licencias neutras desde el punto de vista tecnológico, para fomentar la competencia en el suministro de las TIC.

Estimular el acceso público y la reventa. Las tiendas telefónicas o las oficinas públicas de comunicaciones (en las que se encuentran computadoras y teléfonos fijos para servir al público) son un claro ejemplo de empresas de acceso público quizá sea el mejor modelo para proporcionar servicio a los usuarios a precios bajos, tanto en el medio rural como en el urbano.

Reducir los gravámenes y costos reglamentarios. La disminución de los costos reglamentarios de los operadores que dan servicio en zonas rurales, permitiría que las actividades no viables pasen a ser rentables.

Promover el acceso a Internet. Las políticas que se aplican al acceso a Internet deben ser exactamente iguales a las aplicadas a servicios vocales, al ser considerado el Internet como un servicio básico de telecomunicaciones.

1.4.9 Factores para estimar la capacidad de pago de los mercados rurales

Se pueden desarrollar varios modelos para estimar la capacidad de pago de los mercados rurales, tomando como premisa que los habitantes desean y exigen servicios de telecomunicaciones. Una de las maneras de analizar la proyección de la demanda en forma general, es estimando la capacidad de dinero que los habitantes estaría dispuestos a pagar por los servicios de telecomunicaciones, denominado con la expresión “capacidad de pago modificada”, basándose en una curva de distribución de los ingresos de dichos habitantes.

Una estimación conservadora puede basarse en los datos e hipótesis siguientes:

- El Valor Agregado Bruto (VAB);
- Los ingresos de las telecomunicaciones en porcentaje del PIB (realizando una medición indirecta y aproximada de la cuantía de PIB dedicada a los servicios de telecomunicaciones);
- La población rural;
- Las estimaciones de los ingresos por habitante en la zona rural, sobre la base de una metodología de distribución del ingreso en que se supone (con actitud conservadora) que la población rural representa siempre la parte más baja de la curva de distribución del ingreso (es decir, que si el 70% de la población de un país es rural, se partiría del supuesto de que la población rural ocupa los siete deciles más bajos de la curva de distribución de ingresos);
- La hipótesis de que la población rural está dispuesta a dedicar a las telecomunicaciones (y está en condiciones de hacerlo) el mismo porcentaje de sus ingresos que el resto de la población. En otras palabras, si los ingresos de los servicios de telecomunicaciones representan el 2% del PIB, el mercado rural potencial es del 2% de la parte del PIB del país generada por la economía rural.

1.4.10 Dimensiones del Mercado Rural

El mercado rural puede ser una gran oportunidad comercial, que si se maneja de una manera adecuada puede traer beneficios tanto para los operadores, como para los usuarios

finales, la solución consiste entonces en proporcionar una cantidad de servicios adecuados y rentables.

Llamadas entrantes. Las llamadas desde las zonas urbanas hacia las zonas rurales, generan ingresos a las operadoras, por tasas de terminación de llamada.

Teléfonos públicos. Son teléfonos rurales que reciben una gran cantidad de llamadas.

Por lo que, se puede afirmar que es un error el pensar que las posibilidades del mercado rural se generan por los ingresos de la población de esta zona, ya que se ha analizado que una de las fuentes principales de economía, son las llamadas entrantes realizadas desde las zonas urbanas y del extranjero. Cuando estos ingresos se adicionan a los derivados de las conexiones de servicio básico y a los de las llamadas salientes, los ingresos potenciales totales de las redes rurales pueden llegar al doble lo que afecta a la operadora, ya que perderían su inversión, y talvez para recuperarla optarían por cobrar a los usuarios rurales más dinero del que aceptan y pueden pagar.

1.4.10 Interconexión

La interconexión es un factor clave en la liberación del mercado dentro de acuerdos eficaces y no discriminatorios, en el área rural retoma gran importancia ya que la fijación de tarifas de interconexión equitativas, puede reducir considerablemente el volumen de las subvenciones que debe desembolsar el fondo de Servicio Universal, esto se puede lograr tomando un patrón de corrección de acuerdo al área geográfica de cada país.

La oportunidad que nos brinda la tecnología de interconectar distintas redes ha permitido que haya varios operadores, además lo precios de interconexión han bajado debido a la disminución en los costos de conmutación de llamadas (switching), los beneficios para el usuario se ven reflejados en una mayor eficiencia, incorporación de nuevas tecnologías, menores precios, y más servicios destinados a satisfacer sus necesidades.

La regulación de la interconexión de redes busca evitar el monopolio, porque este es un fenómeno que abre potencialmente las puertas a prácticas no competitivas.

El 28 de octubre de 2004 la SENATEL autorizó la interconexión de mensajes escritos entre las operadoras celulares PORTA, BELLSOUTH (ahora MOVISTAR) y ALEGROPCS, con una tarifa de 0,06 ctvs. de dólar más impuestos, el costo de la interconexión es de 1,8 ctvs. de dólar, lo que ha beneficiado de gran manera al usuario final pues el estar abonados en diferentes operadoras ya no es un obstáculo para la comunicación.

Las dificultades de la interconexión han entorpecido y obstaculizado la aparición de una auténtica competencia, en cuanto a las zonas rurales convendría una interconexión asimétrica (desigual), justificándola en los siguientes puntos:

- a) Los costos de implementar las redes en áreas rurales es mucho más elevado al costo en las redes urbanas, además es muy reducida la clientela en base a la cual se recuperarán esos costos, otros costos influyen directamente en la implementación de la red, incluidos bucles más largos que se requiere para llegar a los clientes más dispersos, estructuras de apoyo y suministro de energía insuficiente, terrenos de difícil acceso y condiciones climáticas complejas. Una red rural llega a costar de seis a diez veces más que las redes urbanas, esto justifica el aplicar *tasas de terminación* más altas en estas zonas.
- b) Varias opiniones que están de acuerdo con un criterio geográfico para promediar los precios, puede ser contraproducente ya que se priva las inversiones a las zonas rurales de alto costo, lo que es un riesgo en un contexto de capital escaso. Además, no se puede suponer que solamente con los fondos de acceso/servicio universal bastaría para realizar las redes en mercados mal atendidos. Convendría que los gobiernos consideren la posibilidad de reducir la brecha de eficiencia de mercado, mediante la modificación de gastos de terminación, así los costos se va a aproximar más a los reales.
- c) Basándose en encuestas realizadas en países en desarrollo se ha constatado que los usuarios están dispuestos a aceptar tarifas más altas para cubrir los costos más elevados correspondientes a *tasas de interconexión*; según estos estudios se deduce que los particulares de bajos ingresos pagarían por lo menos del 2% al 3% de sus

ingresos en telecomunicaciones. Los datos mundiales relativos a la facturación “paga la parte llamante” (PPLL) indican que en general las personas que están acostumbradas a pagar una tasa de interconexión a los proveedores de servicios móviles, también se acostumbrarían a pagar tarifas más altas para cubrir los costos de interconexión y terminación de los operadores de redes rurales.

De darse esto, la disponibilidad de interconexión asimétrica constituiría una mejor base comercial para los posibles inversores de empresas de telecomunicaciones en áreas rurales, contribuiría a incentivar la presentación de ofertas para obtener subvenciones de licencia en zonas rurales.

La interconexión asimétrica basada en los costos contribuiría de gran manera en acortar el desnivel de eficiencia de mercado, lo que ayudaría a inducir a que los operadores extiendan sus redes hacia áreas alejadas de la zona urbana, además se contribuirá a que los fondos de Acceso Universal se destinen a subvencionar el desnivel real de acceso, más allá de los límites de eficiencia del mercado.

1.4.10.1 Interconexión en Ecuador

Mediante Resolución 83-20-CONATEL-96 el 8 de Agosto de 1996 se expide el Reglamento de Interconexión y Conexión de Redes y Sistemas de Telecomunicaciones, con el objetivo de asegurar la interconexión e interoperabilidad de redes y crear condiciones para atraer la inversión a fin de incentivar el crecimiento y desarrollo eficaz de la infraestructura de telecomunicaciones, innovación tecnológica y la sana competencia.

En este reglamento se define a la interconexión como la unión de dos o mas redes públicas de telecomunicaciones que proveen líneas o enlaces, a través de medios físicos o radioeléctricos, mediante equipos e instalaciones que permitan la transmisión, emisión o recepción de signos, señales, imágenes, sonidos e información de cualquier naturaleza entre usuarios de ambas redes, en forma continua o discreta y en tiempo real o diferido.

Se establece además la obligatoriedad de que los operadores de servicios de telecomunicaciones de redes públicas permitan la interconexión a su red a los prestadores que lo soliciten, para este efecto se deberá suscribir acuerdos y cumplirlos;

lamentablemente en la práctica dicha reglamentación no se cumple como debería, por ejemplo Pacifictel(empresa incumbente) se resistió por mucho tiempo a darle la interconexión a Linkotel, para arreglar esto tubo que intervenir el órgano regulador SENATEL, a fin de llegar a un acuerdo.

En nuestro país no se ha considerado la implantación de interconexión asimétrica, lo cual debería pensarse ya que permitiría al operador acceder a los ingresos procedentes de las llamadas entrantes para ayudar a financiar las redes rurales introduciendo servicios de mensajería y de “correo vocal”. Lo que permitiría a una parte más amplia de la población disponer de un mejor acceso a las telecomunicaciones.

1.5 FINANCIAMIENTO DEL PLAN DE SERVICIO UNIVERSAL (PSU)

El financiamiento de los programas del PSU, contempla distintas fuentes de ingresos, una de estas fuentes son las empresas proveedoras de servicios de telecomunicaciones en cuyos títulos habilitantes se les ha estipulado la “Obligación de Servicio Universal” en áreas rurales y urbano marginales, siempre y cuando estén enmarcados dentro del Plan de Servicio Universal.

Además de estos ingresos, existen convenios interinstitucionales entre el CONATEL y diferentes instituciones para la ejecución de programas y proyectos del Fondo Rural Marginal.

1.5.1 Ingresos destinados al FODETEL por OSU

En el Reglamento del FODETEL, se especifica que una parte de los fondos de inversión deben provenir de los “prestadores de servicios de telecomunicaciones, que posean un título habilitante aportando una contribución anual del 1% de los ingresos facturados y percibidos por sus servicios del año inmediato anterior”

En la cláusula catorce del contrato de concesión firmado por la Secretaría Nacional de Telecomunicaciones y las empresas operadoras Andinatel y Pacifictel pesa la obligación de servicio público, para cuyo efecto se decidió crear un fideicomiso para el financiamiento de proyectos en áreas rurales, con planes de expansión hacia aquellas zonas.

En la cláusula trece del Contrato Modificatorio, Ratificatorio y Codificadorio de la concesión de Servicios finales y portadores de Telecomunicaciones, otorgado por la Secretaría Nacional de Telecomunicaciones a favor de Andinatel S.A y Pacifictel S.A. establece que el 4% de las utilidades netas que están destinadas al fondo líquido del “Fondo Rural Marginal” es imputable a la contribución del 1%.

En Ecuador los contratos de telefonía móvil de los dos operadores iniciales OTECEL S.A y CONECEL S.A⁸, en la banda de 800 MHz, contienen cláusulas sobre la obligación de la implantación de cabinas de telefonía pública en zonas rurales y urbano marginales, dentro de las áreas de cobertura concesionadas; esto fue anterior a la creación del órgano regulador FODETEL.

Por otro lado, el nuevo operador de servicios móviles avanzados (en la banda de 1900 MHz) TELECSA obtuvo su Contrato de Concesión del Servicio Móvil Avanzado en el año 2003 cuando el FODETEL ya estaba vigente, por tanto sí se acoge a la nueva regulación de Servicio Universal, la que está basada en el Reglamento para otorgar Concesiones de los Servicios de Telecomunicaciones⁹, y que especifica que la Sociedad Concesionaria trimestralmente realizará la contribución del uno por ciento de los ingresos totales facturados y percibidos por concepto de prestación del Servicio Concedido. En caso de que en un determinado mes existieran saldos no cubiertos por la Sociedad Concesionaria respecto del porcentaje sobre los ingresos anteriormente mencionados, deberá pagar a la Secretaría dichos valores dentro de los noventa días siguientes al respectivo mes, con los intereses de mora respectivos.

1.5.2 Convenios Realizados

1.5.2.1 Convenio Secretaría Nacional de Telecomunicaciones SENATEL–Andinatel S. A. y Pacifictel S.A.

Mediante Resolución No.395-14-CONATEL-2001 del 14 de septiembre del 2001, el CONATEL resolvió aprobar el Convenio a ser suscrito por la SENATEL y las empresas operadoras Andinatel S.A. y Pacifictel S.A, para la ejecución de proyectos del Fondo Rural

⁸ En agosto y noviembre de 1993, las empresas CONECEL S.A. y OTECEL S.A., respectivamente, suscribieron los contratos de concesión para la operación del Servicio de Telefonía Móvil Celular con la Superintendencia de Telecomunicaciones.

⁹ Aprobado mediante Resolución 469-19-CONATEL-2001.

Marginal, cuyo objetivo es que los valores correspondientes al 4% de las utilidades netas destinadas al fondo líquido del Fondo Rural Marginal, se queden en manos de las operadoras, los cuales serán utilizados en la ejecución de programas y proyectos del FODETEL.

Los programas y proyectos a ejecutarse, deberán ser aprobados por el CONATEL previa la presentación de la información técnica y económica, en dichos proyectos deberá constar las localidades escogidas, el tipo de servicio que se va a dar de acuerdo a las concesiones que posean las Operadoras, los plazos que enmarcan el proyecto, la ubicación de las instalaciones, parámetros de calidad, normas de fiscalización, las tarifas, y otros aspectos necesarios.

Las operadoras se comprometen a facilitar los procesos de fiscalización de los proyectos, el control de la prestación de servicios de telecomunicaciones ejecutados corresponderá a la Superintendencia de Telecomunicaciones.

1.5.2.2 Convenio de Cooperación entre el CONATEL y el Municipio del Distrito Metropolitano de Quito.

El Convenio de Cooperación entre el CONATEL y el Municipio de Quito suscrito el 21 de mayo de 2002 tiene como objetivo la ejecución de programas que faciliten el acceso a los servicios de telecomunicaciones en los lugares donde el Municipio tenga Centros Educativos, Centros Comunales y Centros de Acceso Masivo.

El Municipio se compromete a proveer el espacio físico, infraestructura, instalaciones necesarias para la implementación de los programas y proyectos que se deriven del presente Convenio.

Como parte de este convenio y basándose en la Resolución No. 380-17-CONATEL-2000 descrita anteriormente en Marco legal, se ha dado gran importancia a la promoción de Internet, por lo que se asesorará al Municipio en cuanto a la implementación de mecanismos tendientes a promover el acceso de la población a la tecnología de la información y comunicación, con énfasis en el uso y manejo del Internet, estableciendo estrategias que coadyuven a la participación de la población beneficiada.

Este convenio estará vigente durante cinco años renovables, y podrá ser cancelado por cualquiera de las partes con tres meses de anticipación.

1.5.2.3 Convenio de Cooperación Interinstitucional entre el CONATEL y el Municipio de Loja.

El Convenio de Cooperación entre el CONATEL y el Municipio de Loja suscrito el 28 de mayo de 2002 tiene como objetivo establecer el marco general para la colaboración mutua en el área técnica y económica, para la preparación y ejecución de programas que faciliten el acceso a los servicios de telecomunicaciones, en áreas urbano marginales y rurales para favorecer los programas de educación, salud, producción, comercio, turismo, seguridad pública, etc en el cantón Loja.

Sin perjuicio de las atribuciones y responsabilidades de la Secretaría, corresponde al Director del FODETEL la responsabilidad de administrar este Convenio en representación del CONATEL, conjuntamente con el Coordinador General Municipal representando al Cabildo.

Es obligación del CONATEL incluir en el Plan de Servicio Universal la prestación de servicios de telecomunicaciones en áreas rurales de este cantón. La municipalidad de Loja deberá diseñar estrategias que permitan la mejor y mayor participación de la población en programas desarrollados en conjunto con el CONATEL, poner a disposición sus instalaciones, equipo, etc. para facilitar el funcionamiento adecuado de cada proyecto a desarrollarse; ambos organismos deberán obtener los recursos financieros necesarios.

El convenio tiene una vigencia de 10 años contados a partir de su suscripción, pudiendo prorrogarse por circunstancias técnicas o por voluntad, una vez que las razones hayan sido justificadas.

1.5.2.4 Convenio de Cooperación entre el CONATEL y la muy Ilustre Municipalidad de Guayaquil.

El Convenio de Cooperación entre el CONATEL y el Ilustre Municipio de Guayaquil suscrito el 24 de mayo de 2001 tiene como objetivo la creación y establecimiento de Telecentros Comunitarios Polivalentes en las zonas urbano marginales del cantón

Guayaquil, con el asesoramiento del CONATEL tanto en la parte técnica como en la infraestructura a utilizarse, dando especial énfasis en el uso de Internet, entendiéndose como centro Comunitario Polivalente a un local compartido que provee acceso al público a las tecnologías de la información y comunicación.

La vigencia de este Convenio será de cinco años contados a partir de la fecha de su suscripción y se podrá dar por terminado con noventa días de anticipación a la otra parte, sin existir indemnización o compensación por ninguna de las partes

1.5.2.5 Convenio de Cooperación Institucional entre el Consejo Nacional de Telecomunicaciones CONATEL y la Universidad Técnica de la Universidad de Loja UTPL

El 30 de mayo de 2005 se firma el convenio entre el CONATEL y la Universidad de Loja UTPL, con el objetivo de comprometerse y colaborar en el área técnica y económica para la elaboración y ejecución de programas y proyectos en las áreas rurales y urbanas marginales en las provincias de Loja, El Oro y Zamora Chinchipe.

El CONATEL de acuerdo al marco legal otorgará permiso y concesiones con las exoneraciones que sean aplicables en cada caso.

La UTPL pondrá a disposición instalaciones y equipos, servicios de acceso a Internet, de acuerdo a sus posibilidades. Ambas instituciones elaborarán los proyectos que estimulen la participación de la población conjuntamente con el FODETEL.

Este convenio tiene un período de vigencia de cinco años contados a partir de la fecha de suscripción del mismo, podrá ser prorrogado por acuerdo de las partes.

1.5.2.6 Convenio de cooperación entre el Consejo Nacional de Telecomunicaciones CONATEL y la Escuela Superior Politécnica del Litoral ESPOL.

El 29 de octubre de 2001 se firma el convenio entre el CONATEL y la ESPOL, con el objetivo de comprometerse y colaborar en el área técnica y económica, para la elaboración y ejecución de programas y proyectos en las áreas rurales y urbanas marginales en los sectores de influencia de proyectos a cargo de la ESPOL.

La ESPOL se compromete a diseñar estrategias que estimulen la mayor y mejor participación de los habitantes en los programas y proyectos, a través del Centro de Tecnologías de Información.

La duración del Convenio será de 5 años a partir de su suscripción, si las partes acuerdan, se procederá a la renovación por el tiempo que estimen conveniente y podrán dar por terminado unilateralmente el mismo, notificando del particular con noventa días de anticipación a la otra parte, no existirá indemnización o compensación por ninguna de las partes.

1.5.3 Costos del Servicio Universal

Se denomina costo del Servicio Universal al resultado negativo que se da cuando al suministrar el Servicio Universal su costo es superior a los ingresos obtenidos. En la práctica se vuelve complejo determinar ese costo, para lo cual los operadores y los organismos realizan estudios de costos y análisis detallados para cuantificarlo. Sin embargo el organismo regulador, en este caso el FODETEL, debe asegurarse de no conceder subvenciones superiores a un importe justificado por el beneficio real que recibirá el abonado.

Si se logra que las telecomunicaciones se liberen con un “rebalanceo” tarifario, se descarta la existencia de “déficit de acceso”; es decir que las tarifas del servicio de larga distancia o servicio urbano, no resultan inferiores a los costos medios del mismo.

Para el cálculo del déficit por el Servicio Universal (costos menos ingresos) se consideran los siguientes ingresos.

- a) Pagos que realiza el cliente a una tarifa establecida para el por conexión, abono, llamadas cursadas, etc.
- b) Otros ingresos que genera el servicio, como llamadas entrantes.
- c) Beneficios que obtiene el prestador de Servicio Universal como:
 - Imagen positiva, fortalecimiento de la marca, por asumir la prestación.
 - Facilidades de acceso geográfico por la cobertura hasta la zona rural.

- Ciclo de vida sirviendo al cliente que en un futuro puede convertirse en rentable.

En el caso de los teléfonos públicos los factores positivos de ingresos identificados son nuevamente:

- ciclo de vida (que luego puede ser rentable);
- imagen y publicidad del nombre, por logo y otras formas de identificación del servicio, así como la imagen positiva ante la comunidad.

El costo de un proyecto de acceso/servicio universal se lo realiza en base a la subvención que presentan al Fondo de Servicio Universal los operadores ofertantes, para apoyar la ejecución del proyecto, además deben analizarse los valores por encima de la subvención para saber si va a beneficiar a la comunidad.

1.6 CRITERIOS PARA LA SELECCIÓN DE PROYECTOS

Antes de que el fondo subaste un proyecto debe diseñar un programa destinado a calcular la **subvención mínima** que se les puede dar a los operadores. En primera instancia se debe tener presente algunas variables importantes como: política, reglamentación, de carácter social, financiero y económico. Se debe realizar un análisis del estado actual, e incluso futuro, del acceso/servicio universal en el país. Entre los factores de oferta que se han de tener en cuenta a la hora de diseñar un programan de acceso público figuran los siguientes.

Cobertura real de la red. En este punto se debe abarcar todas la redes y tecnologías que puedan utilizarse para prestar los servicios que se estipulan en el programa, separándolos por servicios, por ejemplo fijo o móvil con su respectiva cobertura, así se podrá determinar que zonas son las que no cubre actualmente la red.

Acceso o número de abonados (red actual). En el FODETEL, se debe contar con una base de datos en la que conste el número de abonados tanto en la red fija como en la móvil, para localizar a los habitantes que realmente demanden acceso a los servicios de telecomunicaciones.

Cobertura futura y número de abonados. En todos y cada uno de los programas que auspicie el FODETEL, se debe tener en cuenta la cobertura futura prevista en la red y el correspondiente número de abonados.

Asequibilidad. En el FODETEL, se recopila datos sobre los gastos de los hogares en concepto de telecomunicaciones u otros servicios, lo óptimo sería tenerlos por regiones y sub-regiones, ya que esto permitirá que el administrador se dé una mejor idea del grado actual y previsto de asequibilidad, así se podrá determinar con mayor precisión la cobertura geográfica y demográfica requerida que podría resultar necesario o viable examinar.

Disponibilidad de recursos. Se deberá considerar el monto aproximado de los recursos que recibirá el programa mientras siga vigente. Lo que contribuirá a diseñar un programa real de lo que puede financiar el FODETEL.

1.6.1 Determinación del importe de subvención

Generalmente se usan dos métodos para calcular la subvención máxima, el primero consiste en estimar este importe por parte del administrador del FODETEL con la ayuda de un modelo de costos financieros, el segundo consiste en dejar que el mercado fije la cuantía de la subvención requerida, para lo que se emplea un proceso de ofertas en un contexto de competencia.

Lo más recomendable es utilizar siempre el método de ofertas, ya que los reguladores carecen con frecuencia de la información necesaria sobre los costos para implementar proyectos de Servicio Universal. Para eludir este problema lo mejor es recurrir al procedimiento de ofrecimientos, mediante el cual los operadores pueden ofertar para realizar proyectos, se trata de un buen método para determinar el posible costo del suministro del acceso/servicio universal en una zona dada y, por consiguiente, de definir si es necesaria una subvención.

El cálculo de los ingresos se puede realizar de distintas formas. Normalmente, la subvención máxima se calcula del mismo modo que el valor presente neto (VPN); es decir calculando la diferencia estimada entre los costos y los ingresos resultantes de la prestación de servicios obligatorios durante un período determinado.

1.6.2 Tipos de proyectos a financiar

Se debe tener claramente especificado los tipos de proyectos que se van a auspiciar, entre estas características pueden figurar el ámbito de aplicación del servicio, las características técnicas, la calidad, disponibilidad, el costo, los planes de formación y gestión, además se debe recalcar que se financiarán proyectos en los que no se repita las actividades ya dadas por el sector privado. Entre las categorías de criterios que se toman en cuenta para la ejecución de los proyectos están:

Acceso Universal a los servicios de telefonía básica. Como se dijo anteriormente este es un servicio elemental; para ser presentado como proyecto se deberá incorporar los requisitos técnicos que permitan lograr este objetivo.

Servicios avanzados de telecomunicaciones. Son servicios para promover un acceso fácil a las prestaciones avanzados de las TIC. En estos proyectos se han considerado algunas técnicas:

- **Banda ancha y calidad de transmisión.** Estos proyectos destinados a promover el acceso al Internet requieren instalaciones con una anchura de banda adecuada (por ejemplo 20,8 Kbps), y una calidad suficiente y libre de ruido, como una garantía de que los servicios serán eficaces y funcionales, con una velocidad de datos alta (mínima 256 kbps y máxima 100 Mbps).
- **Acceso a dispositivos computacionales.** Al ser orientados al Servicio Universal, se debería hacer convenios con proveedores de dispositivos computacionales, para que se hagan mejores ofertas. En Ecuador existe un proyecto llamado Internet para todos, el cual exime a los dueños de Ciber cafés el pago de la licencia correspondiente, a cambio deben dar 4 horas gratis a los estudiantes, este es un aspecto positivo, pero debería extenderse a todo el territorio nacional debido a que el acceso a Internet se ha convertido en un servicio básico de telecomunicaciones; apoyando los proyectos dedicados a crear la infraestructura necesaria, esto puede darse recurriendo a telecentros polivalentes comunitarios, telecentros móviles¹⁰, escuelas, colegios, bibliotecas, todo esto mediante subvenciones.

¹⁰ Definición, ver Capítulo IV

Además se debería priorizar el acceso a servicios de mensajería vocal. Estos proyectos permitirán que todos los ciudadanos dispongan de buzones telefónicos a través de teléfonos públicos y por un precio módico.

Capacitación. Es un factor esencial la formación de los usuarios tanto como el mismo Servicio Universal, ya que al capacitarlos podrán utilizar de la mejor manera las herramientas tecnológicas y la infraestructura implementada.

Servicios inalámbricos, celulares y de radiobúsqueda. En el marco de estos proyectos se dará incentivo a las nuevas tecnologías destinada a poblaciones rurales y de bajos ingresos, en donde no hay estos servicios.

Televisión por cable y radiodifusión. Se podría incorporar este tipo de tecnología avanzada, en los casos que la instalación de sistemas de banda ancha sean compartidos por varios servicios, aceptando las mejores prácticas internacionales y la convergencia de los servicios de telecomunicaciones y radiodifusión, estos proyectos resultan rentables, pues ofrecen una amplia gama de servicios y con una subvención mínima.

1.6.3 Criterios de Evaluación

El administrador del FSU debe tomar en cuenta algunos criterios para proporcionar acceso/servicio universal, entre los más importantes se encuentran, la cantidad de servicio, la situación geográfica, la calidad de servicio, los beneficios para la comunidad, el plan de ejecución, el costo, las condiciones del ofertante.

Cantidad de servicio. Se refiere al ámbito de aplicación de los servicios propuestos, número de habitantes, empresas, hogares, que van a ser beneficiados con el Servicio Universal, ya que al llevar una contabilidad estricta se garantiza que la implementación de equipos TIC va a ser justa, sin desperdiciar recursos.

Situación geográfica. Generalmente en los proyectos propuestos por el FSU la zona geográfica en la que se va a dar Servicio Universal, es el criterio más importante, para determinar las propuestas ganadoras, según el proyecto se va a tener parámetros de prioridad en que se va a enmarcar cada estudio de una zona geográfica; es decir que para

cada propuesta los funcionarios del FSU deben informar a los ofertantes sobre la prioridad que otorgarán a los criterios geográficos como son:

- localidades rurales o de escasa densidad demográfica,
- localidades económicamente desfavorecidas,
- localidades con potencial de crecimiento económico a corto plazo.

El orden de prioridad se determinará para cada proyecto, así para los proyectos de desarrollo económico puede destinarse específicamente a ámbitos con mayor potencial de crecimiento, por otro lado los proyectos de Acceso Universal pueden darse en lugares de escasa densidad geográfica.

Con el afán de entender de una mejor manera lo que son áreas rurales se ha tomado la definición del Instituto Nacional de Estadísticas y Censos INEC que especifica que:

Un área rural es aquella ocupada por una población menor o igual que 17.000 habitantes o que tenga una penetración telefónica fija menor o igual que 5,9%.

Calidad de servicio. Este parámetro depende de la tecnología que ha de usarse, el alcance de las características, funciones del servicio y otros aspectos cualitativos de la definición del proyecto; el planificador del proyecto debe imponer condiciones mínimas de calidad que los ofertantes deben cumplir, además se les informará la prioridad que se le da a la calidad del servicio para escoger el proyecto ganador.

Beneficios a la comunidad. Este aspecto se lo analiza desde un punto de vista cualitativo en las distintas propuestas de proyecto. Entre los factores a considerar para determinar los beneficios que va a obtener la comunidad, están la función que los servicios desempeñarán en la promoción de la vida comunitaria, el crecimiento económico, las oportunidades de trabajo, la educación, la formación y el bienestar social.

Para dar prioridad a los proyectos se debería considerar la ayuda que se le va a dar a la comunidad como tarifas bajas, pero lo suficientemente altas para contribuir a un plan comercial sostenible, además las propuestas tecnológicas deben ser de actualidad, es decir

que puedan ser competitivas en relación a otras que estén implementadas en las zonas urbanas.

Los proyectos más beneficiosos van a ser los que promuevan esas oportunidades.

1.6.3.1 Plan de ejecución

Para que un plan de ejecución tenga éxito, es necesario evaluarlo de acuerdo a la viabilidad y a la riqueza del proceso que siga. En un plan de ejecución se va a tener dos períodos uno a corto plazo, en el que se va a crear la infraestructura y el de largo plazo que se orienta a la puesta en marcha y mantenimiento del proyecto. Este plan permite garantizar que las redes y los servicios sean sostenibles una vez agotada la subvención del Fondo.

Un plan de proyecto bien realizado contiene los siguientes parámetros.

Planes comerciales. En el que debe constar las previsiones presupuestarias con un tiempo de tres a cinco años (costos, ingresos, análisis de mercadeo. y otro tipo de financiación).

Propuestas de Tarifación: En el que se incluyen los precios de interconexión con las otras operadoras.

Planes de gestión. En el que deberá constar la planificación del proyecto con una lista del personal encargado.

Programas de aplicación. En el que debe constar el calendario de actividades con la fecha de inicio del proyecto y la fecha de instalación de equipos.

Publicidad y programas de inclusión en la comunidad: En el que deben constar los planes de publicidad, destinados a estimular el uso y los beneficios del servicio brindados a las comunidades interesadas en el proyecto.

Planes de seguimiento y presentación de informes: Deben incluirse disposiciones sobre presentación de informes a los directores del FODETEL sobre los progresos logrados

en la ejecución de los diferentes proyectos, para detectar a tiempo posibles complicaciones y aplicar los correctivos apropiados.

CAPITULO II

EVOLUCIÓN DE LAS REDES CDMA

2.1 INTRODUCCIÓN

En este capítulo se tratará acerca de la evolución de las redes CDMA, inicialmente en la sección 2.2 se hará un breve resumen de las dos primeras generaciones de los sistemas móviles, en la sección 2.3 se describirán conceptos básicos acerca del dimensionamiento de una red celular y finalmente en la sección 2.4 se hará un estudio de la tecnología IS-95 A/B

2.2 TECNOLOGIAS DE ACCESO MÚLTIPLE

2.2.1 Primera Generación (1G)

La primera generación hizo su aparición en 1979, se caracterizó por ser completamente analógica y destinada únicamente a transmitir voz, la calidad en sus enlaces era muy baja.

A fines de los años 70 se desarrolló en los laboratorios AT&T Bell el Sistema de Telefonía Móvil Avanzada (AMPS), pero fue en 1979, en Tokio (Japón), cuando se lanzaron los primeros sistemas celulares comercialmente, con el sistema implementado por la NTT (Nipón Telegraph Telephone Corporation) conocido como MSC.

Mientras que la FCC (Federal Comision of Communication) en EEUU adoptó reglas para la creación de un nuevo servicio comercial de telefonía celular, el cual se puso en vigencia en 1983, en la ciudad de Chicago. En Europa, a finales de los años 80, se desarrollaban varios sistemas que compartían la misma filosofía y estructura, por lo cual tenían una gran compatibilidad entre ellos; entre los sistemas más importantes están:

NMT (Nordic Mobile Telephone). Fue desarrollado en los países nórdicos, este sistema fue introducido en 1981 y operaba en la banda de los 450MHz.

El **TACS (Total Access Communication System)** el Sistema de Comunicación de Acceso Total se creó en el Reino Unido, virtualmente es idéntico al AMPS americano, se puso en vigencia en 1985.

El sistema AMPS comenzó ocupando un ancho de 40MHz en el espectro, en 1989 se agregaron 10MHz más, a su vez Motorola motivado por ampliar la capacidad del sistema desarrolló el N-AMPS o AMPS de banda estrecha, los canales de voz son de 30 KHz y se dividen en 10KHz de ancho de banda cada uno, modulados en FM: Estos sistemas presentaban limitaciones, sobretodo en la capacidad¹¹ máxima del sistema, así como en la seguridad y la compatibilidad entre terminales, esto debido a la característica analógica del sistema. Por lo que las empresas, así como los organismos gubernamentales trabajaron en sistemas digitales que cubran dichas limitantes, incluyendo mejoras en los sistemas. De esta forma nacieron los sistemas de Segunda Generación o 2G a inicio de los 90.

2.2.2 Segunda Generación

Debido al éxito que tuvieron los sistemas de primera generación, la demanda por el servicio creció a gran velocidad, por lo que los sistemas vieron colmada su capacidad de cursar llamadas. El cambio principal que presenta la segunda generación es la digitalización de la interfaz de radio. En el caso de AMPS americano evolucionó a D-AMPS, que utiliza técnicas como FDMA y TDMA combinadas, lo que permite la coexistencia de ambos y la compatibilidad de los terminales.

Los sistemas más destacados en 2G son:

IS-136 (Interim Estándar). Inicialmente conocido como IS-54 es una evolución de AMPS, el acceso es TDMA, influenciado por el sistema Europeo GSM, sin embargo los requerimientos del sistema celular digital en EEUU y en Europa eran diferentes. Dicho sistema utilizó la misma banda de frecuencias asignadas al sistema analógico AMPS, por tanto el sistema analógico y digital debían coexistir. Por lo que la aproximación de menor riesgo era la canalización FDMA, que ya tenía 20 años de funcionamiento por lo que pudo ser una base para el diseño del sistema digital. Debido a la coexistencia de los sistemas se

¹¹ Capacidad: Es la relación Portadora-Interferencia, en los sistemas analógicos debe ser muy alta por seguridad, ya que para escuchar una conversación se necesita un simple receptor FM

decidió desarrollar una unidad móvil dual, es decir la misma unidad puede trabajar con los dos sistemas.

En el sistema digital se dispone entonces de los 21 canales de acceso que se comparten entre los dos sistemas (AMPS y DAMPS) y ambos comparten el mismo proceso para establecer la llamada. El acceso múltiple del sistema IS-136 es TDMA, con configuraciones de 3, 6 y hasta 15 intervalos de tiempo utilizando la misma canalización de AMPS, por lo que proporcionan entre 3 y 15 veces la capacidad de AMPS. Al ser un sistema de banda estrecha (30 KHz de ancho de banda) es un sistema sensible a las interferencias.

GSM, estandarizado por el instituto de Estándares Europeos de Telecomunicaciones (ETSI), basado en un acceso TDMA. Uno de sus principales objetivos fue el de proporcionar un único estándar europeo de comunicaciones móviles. Se utilizó como base la red de servicios integrados RDSI para facilitar las conexiones digitales extremo a extremo. Este sistema se caracteriza por su alto concepto de seguridad, realizando una división entre el Terminal y la identidad del usuario, que garantiza privacidad en las comunicaciones.

Por su semejanza con la red RDSI, el sistema GSM introdujo el servicio de mensajería corta SMS, que es uno de los servicios más utilizados después de la telefonía.

IS-95 CDMA o cdmaOne, cuya iniciativa y propuesta inicial fue presentada por la empresa privada Qualcomm.

2.2.3 Generalidades de las técnicas de acceso múltiple

Los sistemas móviles celulares basaron su evolución en tres tecnologías: FDMA (Acceso múltiple por división de frecuencia), TDMA (Acceso múltiple por división de tiempo) y CDMA (Acceso múltiple por división de código).

FDMA. Es una técnica de multiplexación que caracterizó a los sistemas celulares de primera generación o sea transmisión analógica, básicamente FDMA separa el espectro en diferentes canales de voz; es decir el ancho de banda se divide en pedazos uniformes, cada

canal dispone de un ancho de banda de 30KHz. En cada uno de los canales es ubicado un usuario como se muestra en la Figura 2.1 (a).

TDMA. Es una técnica de multiplexación de segunda generación. En los esquemas TDMA, las señales de los abonados son multiplexadas en el mismo espectro radioeléctrico, por medio de una división temporal, es decir cada usuario transmite su señal en diferentes intervalos de tiempo, el ancho de banda de cada canal es de 30KHz el cual se insertan tres diferentes usuarios, como se muestra en la Figura 2.1 (b).

CDMA. Es una técnica de acceso múltiple por división de código basado en un sistema de comunicaciones de espectro ensanchado (SS-spread spectrum), en CDMA todos los usuario comparten la misma frecuencia al mismo tiempo, otorgando a cada canal la totalidad del volumen espectral disponible; es decir todo el ancho de banda durante todo el tiempo y en toda la zona de cobertura, de forma que permite la transmisión simultánea de varias comunicaciones que emplean los mismos recursos a la vez, cada comunicación se realiza explicando un código diferente, como se ve en la Figura 2.1 (c).

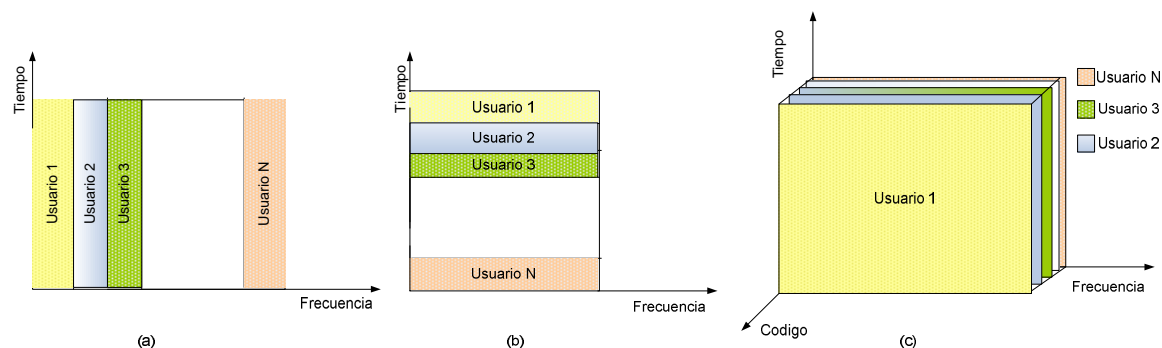


Figura. 2. 1. Tecnologías de Acceso Múltiple

Para realizar un análisis detallado de la tecnología CDMA se debe entender previamente conceptos fundamentales comunes en todos los sistemas móviles, y que complementarán la presente investigación.

2.3 DIMENSIONAMIENTO DE SISTEMAS MÓVILES

Este es un tema importante en el que se van a introducir bases relacionadas con el dimensionamiento de sistemas móviles, así como ingeniería de tráfico.

El principal cometido del dimensionamiento es la consecución de un punto de equilibrio entre la calidad, el número de canales puestos a disposición de la red y el número de usuarios que acceden a esos canales.

Se entiende como dimensionamiento a la determinación del número de recursos radio que se deben atribuir a una red móvil, de modo que la probabilidad de que un usuario no encuentre recursos (canales de radio) sea muy baja. La asignación del canal va a depender de la técnica de acceso que se escoja.

El área de cobertura de una Estación Base, es la zona en la que el terminal móvil puede establecer una comunicación eficazmente, utilizando esa estación base como interfaz con la red del operador celular.

El Grado de Servicio (GOS, Grade of Service), se define como la probabilidad de pérdida de llamadas que entran en un grupo de canales. Por ejemplo un grado de servicio de 1% se puede interpretar como que promedialmente se bloquearán 1 de cada 100 llamadas, ya que no se dispone de canales suficientes para cursar la comunicación. En Ecuador se ha normado un GOS del 2% para las comunicaciones móviles.

En el caso de los sistemas de pérdidas usado en los sistemas celulares de telefonía móvil, el GOS se representa mediante la ecuación. 2.1, utilizando la fórmula ErlangB

$$GOS(\%) = 100 \times B(N, A)$$

Ecuación. 2. 1

En los sistemas móviles se usa una asignación de tipo troncal en la cual se tiene un grupo de N canales radio a los que pueden acceder M móviles. Toda estación móvil puede tomar cualquier canal de radio. A pesar de que esta asignación es compleja, muestra mayor eficacia en el uso de las frecuencias.

2.3.1 Tráfico telefónico

Los estudios de tráfico y dimensionamiento se refieren a la hora cargada; es decir la de mayor tráfico en el sistema BH (Busy Hour). La BH es la suma de los períodos de mayor

producción de llamadas con un total de 3600 segundos (1 hora). Estos períodos se tienen generalmente en la mañana y en la tarde.

Si cada móvil efectúa por término medio L llamadas en la BH, la tasa de oferta de llamadas es:

$$I = \frac{M \times L}{m}$$

Ecuación. 2. 2

Donde,

M : número de usuarios

L : número de intentos por usuario

m : 3600 tiempo de referencia

Se llama **Intensidad de Tráfico** o simplemente tráfico a la suma de todos los tiempos de ocupación de cada uno de los canales durante un intervalo de observación, se lo define también como el cociente entre el tiempo total de ocupación de los canales de radio (suponiendo que se cursan todas las llamadas) y el tiempo de referencia. Se mide en Erlangs¹². También puede referirse a la intensidad de tráfico de un Terminal $M=1$, en este caso se expresa en milierlangs (mErlg).

$$A = \frac{I}{m} = \frac{M \times L \times H}{3600} \text{ (erlangs)}$$

Ecuación. 2. 3

Donde,

H : duración media de las llamadas

Se dice que hay congestión o bloqueo de la red cuando están ocupados los N canales, y al generarse un nuevo intento de llamada, ésta no puede ser atendida.

2.3.2 Clasificación de las Redes

Se clasifica a las redes según la manera que reacciona el terminal frente a una situación de bloqueo.

¹² 1 Erlang equivale a un canal ocupado durante el 100% del tiempo de observación

Sistemas de pérdidas. Se da cuando una llamada al encontrar una situación de congestión, abandona el sistema.

Sistema de espera. Como su nombre lo indica se da cuando una llamada al encontrar una situación de congestión, se pone en cola de espera, siendo atendida cuando se desocupe un canal de radio.

En las comunicaciones móviles se utiliza el sistema de pérdidas, en los que el GOS es igual a 100p, siendo “p” la probabilidad de bloqueo y viene dada por la denominada fórmula de Erlang B.

$$P_b = B(N, A) = \frac{A^N}{\sum_{k=0}^N \frac{A^k}{k!}} \text{ o recursivamente } P_b = B(N, A) = A \frac{P_b(N-1, A)}{N + A P_b(N-1, A)}$$

Ecuación. 2. 4

Donde,

B(N,A): representa la probabilidad de bloqueo del sistema

N: número de canales disponibles del sistema

A: tráfico ofrecido

Se denomina tráfico cursado al producto:

$$\text{Tráfico} = Ax[1-B(N,A)]$$

Ecuación. 2. 5

por lo que el **tráfico perdido** es A x B(N,A)

La intensidad de tráfico para C canales con la probabilidad de bloqueo P_B, se obtiene mediante la inversión de la fórmula de Erlang-B, pero generalmente la consulta se hace en tablas como la presentada a continuación.

$$A = B^{-1}(N, P_B)$$

Ecuación. 2. 6

Nº de canales de Tráfico	GRADO DE SERVICIO						
	0,01%	0,1%	0,5%	1,0%	2,0%	4,0%	5,0%
1	0.0001	0.0010	0.0050	0.0101	0.0204	0.0417	0.0526
2	0.0142	0.0458	0.1054	0.1526	0.2235	0.3333	0.3813
3	0.0868	0.1938	0.3490	0.4555	0.6022	0.8120	0.8994
4	0.2347	0.4393	0.7012	0.8694	1.0923	1.3994	1.5246
5	0.4520	0.7621	1.1320	1.3608	1.6571	2.0573	2.2185
6	0.7282	1.1459	1.6218	1.9090	2.2759	2.7649	2.9603
7	1.0541	1.5786	2.1575	2.5009	2.9354	3.5095	3.7378
8	1.4219	2.0513	2.7299	3.1276	3.6271	4.2830	4.5430
9	1.8256	2.5575	3.3326	3.7825	4.3447	5.0796	5.3702
10	2.2601	3.0920	3.9607	4.4612	5.0840	5.8954	6.2157
11	2.7216	3.8511	4.6104	5.1589	5.8415	6.7272	7.0764
12	3.2069	4.2314	5.2789	5.8760	6.6147	7.5727	7.9501
13	3.7133	4.8305	5.9638	6.6072	7.4015	8.4300	8.8349
14	4.2387	5.4464	6.6632	7.3517	8.2003	9.2977	9.7295
15	4.7811	6.0772	7.3755	8.1080	9.0096	10.1745	10.6327
16	5.3389	6.7215	8.0995	8.8750	9.8284	11.0594	11.5436
17	5.9109	7.3781	8.8340	9.6516	10.6558	11.9516	12.4613
18	6.4958	8.0459	9.5780	10.4369	11.4909	12.8504	13.3852
19	7.0927	8.7239	10.3308	11.2301	12.3330	13.7552	14.3147
20	7.7005	9.4115	11.0916	12.0306	13.1815	14.6654	15.2493
21	8.3186	10.1077	11.8598	12.8378	14.0360	15.5807	16.1885
22	8.9462	10.8121	12.6349	13.6513	14.8959	16.5005	17.1320
23	9.5826	11.5241	13.4164	14.4705	15.7609	17.4245	18.0795
24	10.2274	12.2432	14.2038	15.2950	16.6306	18.3526	19.0307
25	10.8800	12.9689	14.9968	16.1246	17.5046	19.2842	19.9853
26	11.5400	13.7008	15.7949	16.9588	18.3828	20.2193	20.9430
27	12.2069	14.4385	16.5980	17.7974	19.2648	21.1576	21.9037
28	12.8803	15.1818	17.4057	18.6402	20.1504	22.0988	22.8672
29	13.5600	15.9304	18.2177	19.4869	21.0394	23.0429	23.8333
30	14.2456	16.6839	19.0339	20.3373	21.9316	23.9896	24.8018
31	14.9367	17.4420	19.8540	21.1912	22.8268	24.9388	25.7726
32	15.6332	18.2047	20.6777	22.0483	23.7249	25.8904	26.7457
33	16.3348	18.9716	21.5050	22.9087	24.6257	26.8442	27.7207
34	17.0412	19.7426	22.3356	23.7720	25.5291	27.8002	28.6978
35	17.7523	20.5174	23.1694	24.6381	26.4349	28.7581	29.6767
36	18.4676	21.2960	24.0063	25.5070	27.3431	29.7180	30.6573
37	19.1876	22.0781	24.8461	26.3785	28.2536	30.6796	31.6397
38	19.9115	22.8636	25.6887	27.2525	29.1661	31.6431	32.6236
39	20.6392	23.6523	26.5340	28.1288	30.0808	32.6061	33.6090

Tabla. 2. 1. Tabla de la función Erlang B

La densidad de tráfico se puede calcular con el cociente de la intensidad admisible y el área de cobertura. Se denomina índice de reutilización al cociente de la intensidad de tráfico y el número de canales disponibles.

$$r = \frac{A}{Sc}$$

Ecuación. 2. 7

Donde A es la intensidad de tráfico y Sc es el número de canales disponibles.

Se denomina densidad de móviles al cociente de la densidad de tráfico y el tráfico cursado por cada usuario.

$$m = \frac{r}{\text{Tráfico por usuario}}$$

Ecuación. 2. 8

El siguiente ejemplo se basa en referencias que generalmente se tenían en los inicios de las comunicaciones móviles.

Las limitaciones del sistema en sus inicios hacia imposible servir a varios móviles, por ejemplo para servir a 40 móviles ($\rho=1$) se necesitaban 352 canales en una sola célula, esto era prácticamente imposible pues los operadores no disponían de una cantidad tan grande de canales. Para dar solución a este problema se creo el llamado concepto celular.

2.4 CONCEPTOS BÁSICO DE SISTEMAS MOVILES

2.4.1 Concepto de radio celular

La tecnología celular usa frecuencias de radio individuales, dividiendo el área de cobertura geográfica en sub-áreas, a las que se las denominan células o celdas hexagonales continuas que forman una especie de panel. La forma es hexagonal ya que proporciona una transmisión más efectiva, aproximada a un patrón circular, eliminando espacios entre los círculos adyacentes. Una celda se define por su tamaño físico, por el tamaño de su población y por los patrones de tráfico. El número de celdas es definido por el operador y lo establece de acuerdo a los patrones de tráfico anticipado.

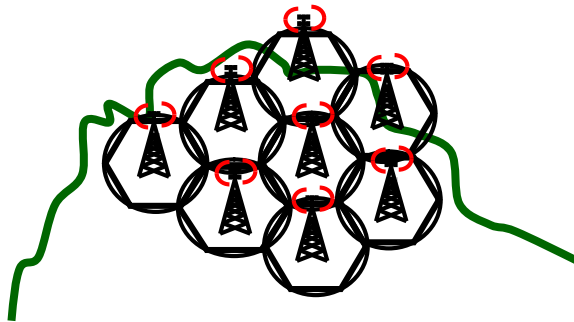


Figura. 2. 2. Celda

Una de las ventajas de la reutilización, es la multiplicación de la capacidad de frecuencias para cursar tráfico, así se puede cursar en todo momento más llamadas que frecuencias disponibles, pues cualquier radiocanal puede cursar varias comunicaciones simultáneamente por células distintas en tanto que en sistemas de transmisor único solamente podía darse servicio a un abonado por cada radiocanal.

El conjunto de células que emplean juegos de frecuencias diferentes se denominan **agrupación** o **cluster**, hay diversas formas de organizar las celdas para evitar las interferencias entre los canales, en la Figura 2.5 se muestra un cluster en el que $N=7$, el factor N se define como el tamaño del cluster (número de células de la agrupación); puede variar generalmente entre 3, 4, 7 y 12 células, dependiendo de la tecnología que se use.

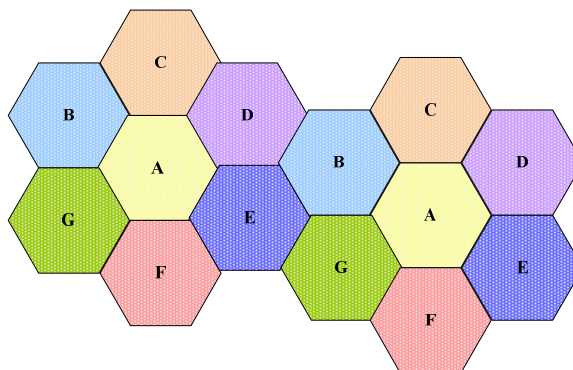


Figura. 2. 3. Reutilización de Frecuencias, cluster de 7 celdas

Una de las consecuencias del rehúso de frecuencias sobre las comunicaciones móviles es la interferencia provocada por el propio sistema; es decir la calidad en la comunicación está dada por la relación de potencias entre la señal útil y la señal interferente interna, en áreas rurales, se debe tomar en consideración la componente de ruido, ya que son entornos con niveles de interferencia reducidos.

Con la división por celdas se ahorran recursos, en términos de intensidad de tráfico, no obstante existen algunas limitantes que no permiten utilizar la totalidad de canales, como es la interferencia.

La interferencia provocada por el propio sistema se clasifica en dos grupos, la interferencia cocanal o interferencia generada por otras comunicaciones que utilicen los mismos canales en otras celdas. Y la interferencia por canal adyacente, que son causadas por un mal diseño en los sistemas de modulación, filtrado y etapas de potencia.

Interferencia de canal adyacente. Esta interferencia de canal adyacente es generada por comunicaciones establecidas en la misma celda o en celdas vecinas, que utilizan una frecuencia adyacente a la utilizada en la comunicación en curso, generalmente son causadas por el errores en el diseño de los sistemas de modulación filtrado y etapas de potencia. El principio es que en la antenna receptora se recibe la potencia con la que emite un canal adyacente y que sobrepasa los límites del canal, en la Figura 2.3 se puede ver la interferencia de canal adyacente.

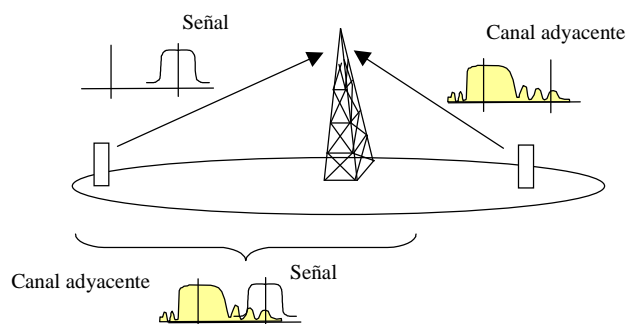


Figura. 2. 4. Interferencia de canal adyacente

Interferencia Cocanal. Esta interferencia aparece en la antenna receptora, es generada por comunicaciones diferentes a las establecidas por ella en celdas distantes y que utilizan la misma frecuencia; es decir la antenna receptora recibe la señal que ya ha establecido y además señales de otras comunicaciones.

El calculo del número de celdas por agrupación requiere conocer previamente la relación señal a interferencia que se requiere para una calidad aceptable en la comunicación, esta relación señal a interferencia umbral marca la distancia mínima que debe existir entre celdas cocanal, y en si determina el número de celdas por agrupación. Cuanto menor sea el número de celdas por agrupación, mayor es el número de canales disponibles por celda, y por tanto, mayor capacidad tiene el sistema; por el contrario si hay una menor distancia entre celdas, mayor es la interferencia. Por ello el número de celdas por agrupación es una medida básica de la capacidad de un sistema, en la Figura 2.4 se puede observar como la interferencia cocanal producida por la Estación Base interfiere en un grado menor a la estación base 2 al estar más alejada que la 1, esto se da porque la señal interferente se atenúa con la distancia.

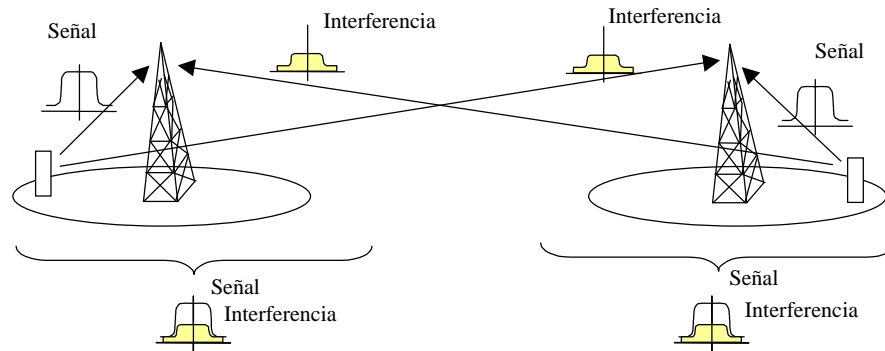


Figura. 2. 5. Interferencia cocanal

2.4.2 Tipos de células

Para clasificar a los diferentes tipos de células se las ha ordenado siguiendo algunos parámetros que se definen a continuación.

Según su cobertura. Las células según su cobertura se dividen en cuatro tipos:

Celda mundial. Generalmente posee un radio mayor a 20Km. Estas celdas podían lograrse con sistemas de primera generación o con sistemas satelitales, actualmente puede lograrse con CDMA en la banda de 450MHz, por las características de las bandas bajas.

Macro Células. Poseen un radio entre 500m y 20Km, estas células son típicas de las zonas rurales y con un bajo tráfico de usuario. El radio disminuye al aumentar la densidad de usuarios y el tráfico generado.

Micro células. Poseen un radio entre 300m y 500m. Estas se utilizan en entornos de alto tráfico como calles, centro comerciales, estadios, etc.

Pico células. Poseen un radio menor a los 300m. Estas células son utilizadas en entorno indoor, como edificios con alto tráfico, etc.

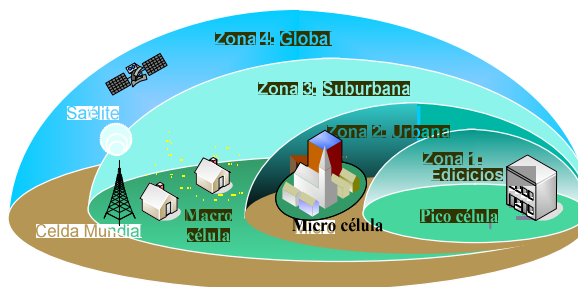


Figura. 2. 6. Tipos de células según su tamaño

Según la configuración de antena. Según la configuración de las antenas se clasifica en dos tipos de células:

Omnidireccionales. Con este tipo de configuración todos los grupos de canales de la estación base se asignan a la misma célula. Este tipo de celdas se usa generalmente en zonas rurales.

Sectorizadas. Este tipo de células se reparte entre el número de sectores disponibles. El número de sectores dependen del área que se desea cubrir, las células de 3 sectores son usadas generalmente en áreas urbanas.

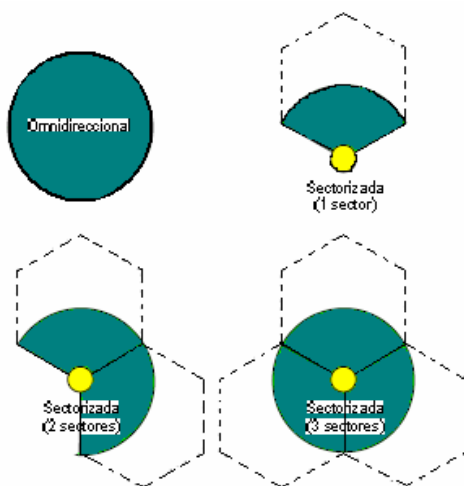


Figura. 2. 7. Tipos de células según su configuración de antena

2.4.3 División Celular

En la práctica es difícil establecer el límite entre dos celdas y su tamaño, ya que habrá celdas que tengan mucho más tráfico que otras, por lo que se hace necesario subdividir algunas celdas en otras, añadiendo más estaciones base y disminuyendo la potencia de transmisión, esto se conoce como *cell splitting*, el objetivo básico de la división celular es facilitar el ajuste de la red celular a los aumentos de tráfico sin necesidad de incrementar el

número de frecuencias en el sistema, de manera que en realidad el tamaño de las células variará según la densidad de tráfico.

Las consecuencias al realizar la división celular (Figura 2.8) son:

- Se reduce a la mitad el radio de la célula, por lo que la superficie se divide por cuatro.
- El número de células necesarias para cubrir determinada área se multiplican por cuatro.
- Aumenta el tráfico entre celda
- Se necesita una mayor precisión en la ubicación de las estaciones
- Se incrementa la capacidad de tráfico aproximadamente en un factor de 4
- Aumenta los costos.

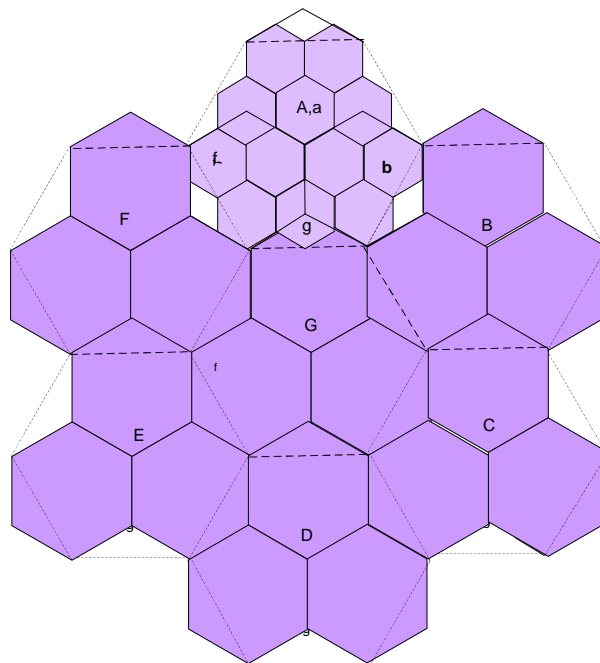


Figura. 2. 8. División Celular¹³

Si se tiene una agrupación de 7 células como se ve en la Figura 2.8 omnidireccionales, de 500Km² de superficie, un radio de 14 Km (líneas punteadas), en la primera fase se sectoriza, estableciendo tres células, lo que conduce a un modelo celular 7/21, en la segunda fase desde el modelo 7/21 anterior se realiza una nueva subdivisión para llegar a otro modelo 7/21 pero con ubicaciones en un número 4 veces mayor, y en la que se

¹³ Tomado de Hernando Rábanos José María TRANSMISIÓN POR RADIO

reducirá el área por celda a la cuarta parte. Si se quiere realizar otra sectorización se aprovecharán los emplazamientos antiguos y desde allí se establecerá otros nuevos.

En la Tabla 2.2 se ve el incremento del número de abonados al realizar la sectorización (1 sector) y sucesivas divisiones celulares (2 y 3). El número de frecuencias por estación base no aumenta ($14 \times 3 = 42$), se puede ver que en la primera fase existe una cierta disminución de capacidad al reducir el número de canales por célula, esto se debe a que aun no hay reutilización, no obstante en la etapa 3 y 4 ya con subdivisión y reutilización, el crecimiento de la capacidad es explícito.

Fase	Radio celular (Km ²)	Número de células	Área Celular (Km ²)	Canales por célula	Tráfico por Célula (E)	Densidad de Tráfico r (E/Km ²)	Total de Abonados
0 Omni	14	7	500	45	33,4	0,067	9352
1 sector	8	21	166	15	8,1	0,048	6831
2 sectores	4	84	41,6	15	8,1	0,19	27259
3 sectores	2	336	10,4	15	8,1	0,17	109038

Tabla. 2. 2. Efecto de la sectorización en el incremento de la densidad de tráfico

2.4.4 Elementos básicos de los sistemas móviles

Para estudiar los sistemas celulares se debe tener claro cierta terminología asociada a dicho tema. Básicamente las redes celulares se utilizan para proveer comunicación de voz y conexiones de datos, los elementos básicos de todos los sistemas móviles son:

Estación Móvil (MS). Como su nombre lo indica es la estación que va a tener movilidad, además es la única parte del sistema completo que el usuario ve. Existen estaciones móviles de muchos tipos como las montadas en automóvil, y los equipos portátiles, pero los más desarrollados son los terminales de mano.

El terminal debe acondicionar la voz del usuario, para que sea transportada por la red de telecomunicaciones, mantiene el vínculo inalámbrico con las entidades de la red celular. La voz será transformada en una señal eléctrica para el acondicionamiento en los sistemas electrónicos del Terminal, dependiendo de la tecnología que se elija, para modular se usa una portadora de radio.

Estación base (BS Base Station). Una estación base esta conformada básicamente por un conjunto de transceptores, ubicados en el centro físico de cada célula. La estación base sirve como un control central para todos los usuarios dentro de esa celda. Los móviles se comunican directamente con la estación base, la que sirve como una estación retransmisora de alta potencia. La estación base puede mejorar la calidad de transmisión pero no puede incrementar la capacidad de canales, dentro del ancho de banda fijo de la red.

Junto con el terminal móvil son los únicos elementos que pueden ser fácilmente visualizados en áreas públicas, en una red de telefonía celular.

Centro de conmutación móvil (MSC). También conocida como MTSO (Mobile Telephone Switching Office), la función primordial del centro de conmutación móvil, es controlar el procesamiento y establecimiento de llamadas así como la realización de llamadas. El MSC proporciona también una administración centralizada y el mantenimiento crítico para toda la red e interfaces con la Red de Telefonía Pública Conmutada (PSTN), además es el responsable de gestionar, encaminar y tarifar las conversaciones entre terminales móviles y la PSTN.

Transceptor de la estación base (BTS). Su función principal es proporcionar a la estación base, la radio transmisión y recepción, se puede tener uno o más transceptores para suministrar la capacidad requerida.

Controlador de la estación base (BSC). Es una central digital que se usa como un vínculo entre un conjunto de radiobases y el MSC, cada una de las células contiene un controlador de sitio que opera bajo la dirección del centro de conmutación y administra cada uno de los canales de radio, cumple funciones como supervisar llamadas, encender y apagar el transceptor de radio, envía información en los canales de control y de usuario, además realiza pruebas continuamente del equipo. El BSC permite una mejor utilización de los recursos de la red de telecomunicaciones, pues concentra los vínculos de comunicación vocal entre las BS y el MSC, logrando que largas distancias sean cubiertas, el BSC posibilita simplificar las funciones del MSC en lo que a gestión de la interfaz de radio se refiere.

Registro de abonados locales (HLR). Se maneja a través de una base de datos, o conjunto de estas, donde están todas las referencias de los abonados de la red celular, además se encarga de la localización del abonado móvil, lo que permitirá encaminar las llamadas dirigidas a este.

Registro de abonados visitantes (VLR). Se tiene uno en cada MSC, es una base de datos donde se guarda temporalmente información de los abonados visitantes que actualmente están en esa MSC. Esto permite que un abonado disponga de los servicios que le brinda su operadora aún cuando el área de servicio sea de un operador diferente. En este registro tenemos información de dos tipos:

Datos permanentes copiados del HLR de origen, de manera que no se hace necesario consultar permanentemente el mismo para tener estos datos.

Cuando un móvil entra en una nueva área de localización (es decir cambia de MSC) solicita actualizar su posición. Este proceso de registro requiere de un intercambio de información entre registro de posición base y visitante, lo cual se efectúa con el uso de los datos disponibles en el VLR.

Enlace descendente (downlink) y enlace ascendente (uplink). Estos constituyen el interfaz radioeléctrico entre la BS y el MS. Todo lo que se considere descendente se referirá al sentido BS hacia MS, y ascendente en el sentido MS hacia BS.

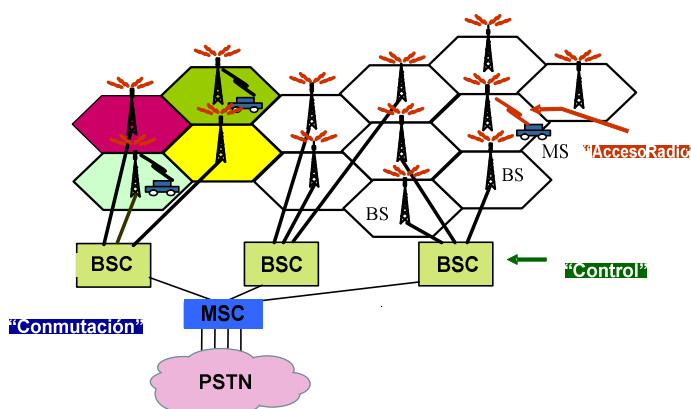


Figura. 2. 9. Elementos que conforman un sistema móvil celular

2.4.5 Consecuencia de la Movilidad

Una diferencia de la telefonía fija con los sistemas celulares radica en la movilidad de los usuarios, dicha movilidad requiere se realicen cuatro funciones básicas.

Gestión de localización. En un sistema celular la celda en la que se debe establecer el contacto con el usuario cambia conforme él se mueve, por lo que para recibir una llamada primero se debe localizar al usuario móvil, es entonces cuando el sistema determina en que celda se encuentra actualmente, para lo que existen tres métodos.

En el primer método la estación móvil indica cada cambio de la celda a la red, lo que se denomina “actualización sistemática de la localización al nivel de celda”, al llegar una llamada se envía un mensaje de búsqueda sólo a la celda donde se encuentra el móvil, la cual es conocida.

En el segundo método se envía un mensaje a todas las celdas de la red cuando ingresa una llamada, evitándose así que el móvil constantemente notifique cual es su posición.

En el tercer método se complementan los dos primeros, se introduce el concepto de áreas de localización (grupos de células), cada una de ellas perteneciente a un área de localización simple. La identidad del área de localización a la que pertenece la célula es enviada a través de un canal de difusión (broadcast), con lo que las estaciones móviles conocerán el área de localización en cada momento, el móvil deberá notificar su posición al cambiar de un área de localización.

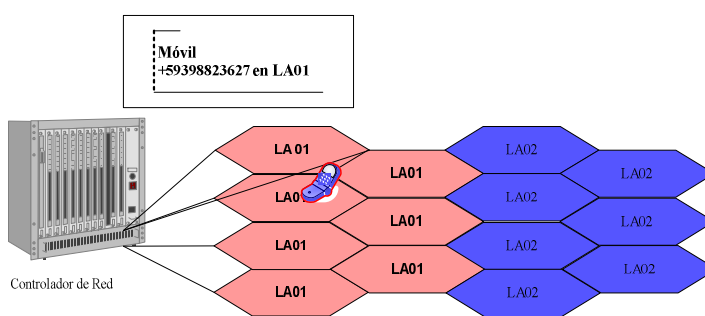


Figura. 2. 10. Actualización de la localización

Roaming (función de seguimiento). En los sistemas fijos la elección de la red que proporciona el servicio está hecha desde el principio. Al introducir la movilidad, diferentes proveedores pueden proporcionar servicio a un usuario, dependiendo del lugar en el que esté.

Esto implica un esfuerzo de coordinación entre los operadores, sobre todo en cuanto a tarificación se refiere. Si contribuyen los diferentes operadores de red, pueden ofrecer a los usuarios un área de cobertura mucho mayor, que al hacerlo por si solos; esto se denomina “roaming”. Este servicio consiste en facilitar el recibir y originar llamadas a un abonado celular, aún en el área de servicio de un operador diferente a aquel con el que se realizó el contrato.

El roaming solo es posible si se logra acuerdos tanto administrativos como técnicos. En primer lugar se debe resolver a través de un regulador, las tarifas, acuerdos de abonados, etc., para después acordar la parte técnica como son la transferencia de datos de localización entre redes, o la existencia de una interfaz de acceso común, que es la que logra que un usuario con su terminal móvil pueda acceder a las diferentes redes.

Paging. El paging es un aviso que se origina cuando se debe avisar al móvil a través de la red que debe reaccionar ante un evento por ejemplo una llamada entrante, actualizar su posición en la red, recibir un mensaje corto o de difusión. Cuando el mensaje está dirigido a un móvil específico el paging se realiza en base a la última localización de dicho terminal. Hay ocasiones en las que el paging se difunde sobre todas las células del sistema, con el objetivo de requerir una lectura de nueva información del sistema, esto se da cuando hay parámetros que deben ser modificados para todos los usuarios.

Traspaso (handover/handoff). Es un mecanismo mediante el cual una llamada establecida puede mantener la comunicación sin interrupción mientras atraviesa diversas células. En el primer paso la red celular indica a la MSC que debe captar un nuevo vínculo de radio para mantener la comunicación en curso, el cual puede encontrarse en la misma celda o en una diferente. Los motivos para que se produzca un handoff son diversos, por ejemplo se da cuando hay un bajo nivel en la señal, baja calidad del enlace, interferencia, velocidad del móvil, gran distancia entre el móvil y la estación base, por bases de datos, por saturación de tráfico en la célula origen destino, por congestión de la célula origen, etc. Cuando se produce la interrupción esta es imperceptible para el usuario, en el peor de los casos se requiere de algunas decenas de milisegundos.

2.5 SISTEMA CDMA IS-95

El acceso múltiple por división de código (CDMA) se refiere a la técnica que permite que varios usuarios puedan acceder a un mismo medio de comunicaciones.

Si todos los usuarios comparten la misma frecuencia simultáneamente interferirían entre sí. El reto es tomar la señal de un usuario de entre todas las demás señales de la misma frecuencia. La separación entre ellas se realiza asignándoles distintos códigos digitales. En el punto de recepción, el conocimiento de la secuencia de código usada por una señal dada, permite que la señal sea extraída.

Como se mencionó anteriormente el acceso CDMA es a través de códigos, a diferencia de bandas de frecuencia como en FDMA o ranuras de tiempo como en TDMA, además todas las estaciones base utilizan la misma frecuencia para transmitir señales.

2.5.1 Características de CDMA

CDMA posee características muy importantes y únicas como son:

Un sistema DS/CDMA puede aplicar un rehuso de frecuencias unitario; es decir todas las frecuencias pueden utilizarse en todas las radiobases, por lo que si una región aumenta el tráfico, la implementación de nuevas RBS reajustarían las potencias máximas.

Control de potencia rápido y fácil, basado en la regulación de la potencia de emisión para garantizar la calidad de la comunicación en la recepción. Esto supone que si en recepción se detecta una relación señal a interferencia por debajo del umbral de calidad, se procede a transmitir con mayor potencia o viceversa.

Para recuperar el máximo de energía que se pueda de la señal multicamino, se suele usar rastreo del receptor (Rake receiver), que demodule simultáneamente la información de dichos caminos, los receptores RAKE se usan en estaciones base y móviles generalmente están compuestos de 3 o 4 filtros acoplados o correladores¹⁴.

¹⁴ Un correlador también llamado integrado de producto, se usa para la detección de señales pseudoaleatorias. El correlador multiplica e integra la señal

2.5.2 Protocolos

Aunque CDMA había sido mentalizado para el comercio de los servicios móviles, no fue considerado una tecnología viable sino hasta 1989 cuando la Cellular Telecommunications Industry Association (CTIA) lanzó al mercado la idea de Users's Perfomance Requirements (UPR) para los sistemas 2G, el primer estándar adoptado fue IS-54, el cual no cumplía completamente con las especificaciones UPR, entre dichos requerimientos estaba el aumento en un factor de 10 en capacidad con respecto a AMPS, privacidad, calidad mejorada, compatibilidad con AMPS y un costo razonable, IS-54 aumentaba la capacidad en un factor de 3.

Por otro lado un sistema CDMA fue demostrado por Qualcomm en San Diego California, este se basaba en técnicas de espectro ensanchado, el cual cumplió con todos los requerimientos de las UPR. Las pruebas de campo fueron presentadas ante la CTIA el 5 de diciembre de 1991, el 6 de Enero de 1992, la CTIA aprobó una resolución para que la TIA se prepare estructuralmente para aceptar contribuciones relacionadas con sistemas celulares de banda ancha, para lo que se creó un subcomité TIA TR 45.5, este aprobó y puso en vigencia el primer estándar celular CDMA el 16 de julio de 1993.

En la revisión dos en mayo de 1995 se presentaron mejoras menores, el protocolo publicado en base de esta revisión se denominó IS-95A, mientras tanto unos meses más tarde el American Nacional Standar Institute (ANSI) puso en vigencia el estándar J-STD-008 una especificación que determina la compatibilidad para la banda PCS (1900MHz y 2100MHz), el cual se basaba en las mismas consideraciones de diseño de los sistemas que implementa IS-95A.

En la revisión numero tres TR45.5 lanza una especificación adicional denominada TSB-74, que describe una iteración entre un sistema IS-95A y los sistemas PCS CDMA conforme a las especificaciones de ANSI J-STD-008

En 1998, TR45.5 lanzó al mercado lo que se conoció como la familia de estándares de cdmaOne; es decir IS-95B, TSB-74 y J-STD-008.

Para los sistemas 3G se ha considerado emplear CDMA como su tecnología de interfaz de aire. El estándar CDMA2000 es una evolución directa de cdmaOne, y fue puesto a

conocimiento público en 1999, ETSI WCDMA, la propuesta Europea-Japonesa, terminó la mayor parte del trabajo de estandarización en Enero del 2000.

2.5.3 Sistema IS-95 descripción

En la Figura 2.11 se observa los principales bloques que constituyen un sistema de comunicaciones CDMA.

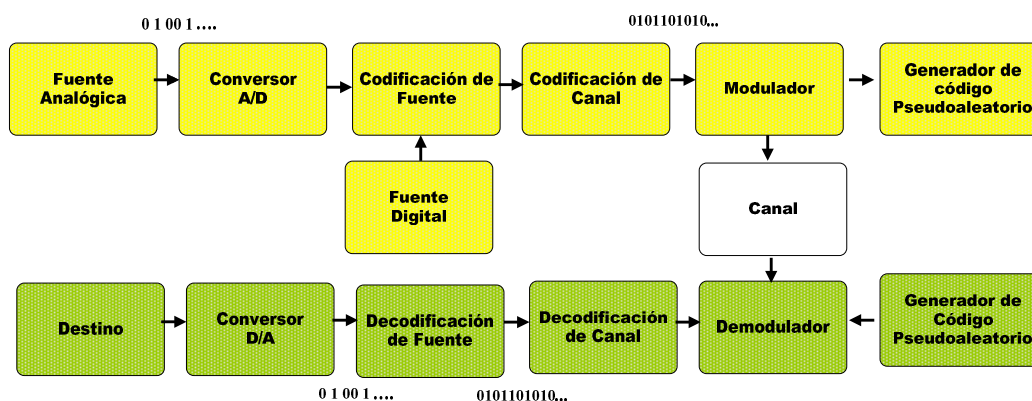


Figura. 2. 11. Diagrama de Bloques de un sistema de comunicación CDMA¹⁵

2.5.3.1 Fuente (Destino)

Se compone de la señal de transmisión del usuario la cual puede ser de voz o datos.

2.5.3.2 Codificación de Fuente

Al tener una señal de voz o datos, esta es enviada al codificador de fuente para acondicionarla con características necesarias para ser transmitidas por el canal CDMA.

Si se va a transmitir datos, la codificación de fuente se encarga de alinear la trama, sincronizarla con la fuente, etc. Cuando se va a transmitir voz, la codificación de fuente se realiza a través de codificadores predictivos de la voz conocidos como vocoders.

Los **vocoders** son un tipo de sistemas de codificación que analizan la señal de la voz en el transmisor, transmiten los parámetros derivados del análisis y sintetizan la voz en el receptor usando dichos parámetros. El estándar IS-95 utiliza una variación del vocoder LPC (Linear Predictive coder) que se denomina CELP (Codebook-Excited Linear Prediction). El canal del vocoder presenta una velocidad variable de 1,2 a 9,6 Kbps.

¹⁵ Tomado de: *Comunicações Móveis do analógico AO IMT 2000*, André Gustavo Monteiro Lima

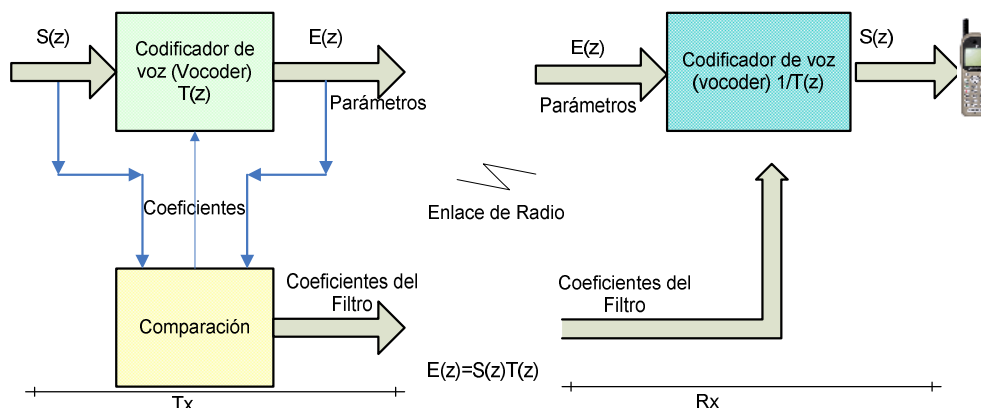


Figura. 2. 12. Codificación de fuente

En la Figura 2.12 se puede ver el proceso que sigue la voz para ser codificada. $S(z)$ corresponde a la señal de voz, el filtro que modela la zona vocal se representa como $T(z)$ (filtro todo polos), y la señal de excitación está representada por $E(z)$, el espectro de la señal se puede escribir como $S(z)=E(z)/T(z)$. La diferencia entre la voz original y la señal de salida es mínima e imperceptible al oído.

2.5.3.3 (De)Codificación de Canal

Se orienta a proveer robustez a la información frente a las características del enlace de radio, ya que introduce una redundancia estructurada en emisión lo que hace posible que el decodificador de canal en recepción recupere la información transmitida mediante la corrección de determinados errores de transmisión. Proporciona opciones al receptor para que pueda determinar si alguna trama tiene bits erróneos. Para lograr este cometido se utilizan algunas técnicas como son:

Códigos de redundancia cíclica (CRC). También conocidos como códigos polinomiales, este método se basa en añadir una secuencia de k bits, al final de la trama que llega del codificador de voz, de tal manera que la secuencia de $k+n$ bits resultante constituyan los coeficientes de un polinomio $G(x)$ divisible de forma exacta determinado previamente por emisor y receptor. Cuando el receptor recibe la trama realiza la división entre $G(x)$, si el resto es distinto de cero ha ocurrido un error de transmisión.

Codificación convolucional. Esta codificación añade memoria al CRC, para hacer más segura la protección sobre el canal, el codificador es un registro de desplazamiento por donde pasa la información.

Intercalado. Se lo utiliza para minimizar la influencia de los errores en ráfaga sobre los datos de usuario principalmente en la voz. Dicho intercalado se basa en registros tipo matriz en donde se entrelazan las tramas de datos

La escritura de la matriz se realiza por columnas según van llegando los datos al intercalador, así se logra que los datos de usuario se mezclen, evitando que un error de ráfaga afecte a una misma trama. Si la matriz tiene un tamaño grande, es posible que se de cierto retardo, por el tiempo que toma intercalar los datos.

2.5.3.4 Acceso Múltiple CDMA

Se realiza para acondicionar la señal para su transmisión en conjunto con otras señales del mismo usuario y con señales de otros usuarios que se realizan sobre el mismo canal (frecuencia). En este punto se realiza la aplicación del código ortogonal de usuario.

El transmisor modula y combina las señales que van a ser irradiadas al medio. El receptor capta por el puerto de antena las señales combinadas las cuales se encuentran en la misma frecuencia. Para recuperar la señal original, la señal recibida es multiplicada por el código de usuario, dicha multiplicación eliminará todas las componentes de señal con códigos distintos por el hecho de ser ortogonales, $C_1(t) \cdot C_2(t) = 0$, $C_1(t) \cdot C_1(t) = C_1^2(t)$, $C_2(t) \cdot C_2(t) = C_2^2(t)$, luego la señal es integrada sobre el período de bit para determinar el valor positivo o negativo de la señal, posteriormente la señal es recuperada por un conversor digital-analógico ver Figura 2.13.

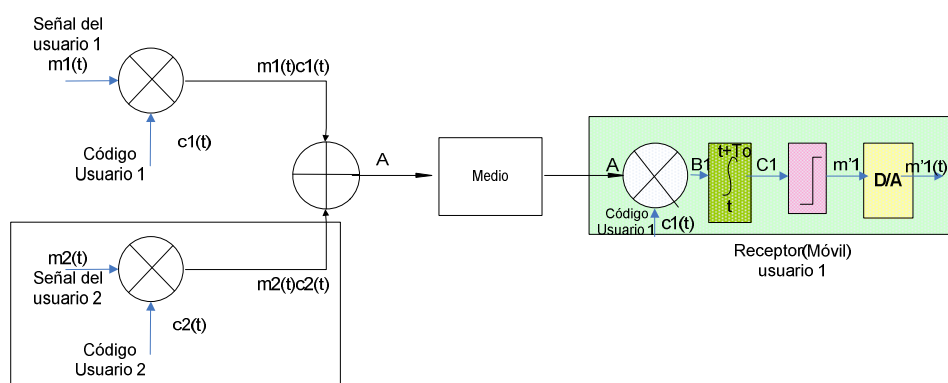


Figura. 2. 13. Acceso Múltiple por División de Código CDMA

CDMA utiliza la técnica de espectro ensanchado, cuya mayor ventaja es la alta inmunidad frente a interferencias casuales (usuarios utilizando el mismo canal) o

interferencias provocadas por parte de alguien que quiera bloquear una comunicación en curso. Las características principales de esta técnica son:

- La modulación de espectro ensanchado ocupa un ancho de banda mucho mayor que el mínimo requerido para que los datos sean transmitidos, ya que al multiplicar dos señales en tiempo implica hacer una convolución en frecuencia lo cual esparce o dispersa el espectro.
- El ensanchamiento de la señal transmitida se obtiene con la suma binaria de esta, con otra señal pseudoaleatoria (código Walsh) independiente de la señal a transmitir.
- La recepción se efectúa mediante el proceso de desensanche, el que consiste en la suma binaria de la señal recibida con una señal local que es la réplica de la señal (código PN) empleada en la transmisión.

Existen varias técnicas para expandir el espectro, las que se diferencian en el modo de ensanchamiento y la modulación que utilizan.

CDMA de secuencia directa (DS-CDMA). En esta modulación la fase de una señal portadora es variada dependiendo de una señal pseudo aleatoria resultado de la multiplicación de la señal a transmitir $x(t)$ con una señal denominada código PN.

CDMA de saltos de frecuencia (FH-CDMA). En esta modulación la señal resultante es una portadora que da saltos de frecuencia, cuya frecuencia instantánea varía dependiendo de una señal obtenida de la multiplicación de la señal de datos $x(t)$ y una señal pseudo aleatoria (código PN).

CDMA por saltos de tiempo (TH-CDMA). En esta modulación, a cada pulso de información $x(t)$ se le asigna un intervalo de tiempo dentro del intervalo de operación (hopping intervalo). El proceso de selección de la ubicación del pulso de información corresponde a una modulación de posición de pulso PPM (pulso FM o chip). En este tipo de modulación la frecuencia instantánea de cada pulso es función lineal del tiempo usualmente es usada en aplicaciones de radar.

CDMA híbrido. Son combinaciones de los tres anteriores

Existen algunas maneras de generar códigos ortogonales para multiplicar la señal original a ser transmitida y para recuperarla en el receptor, entre las más destacadas están los códigos PN respectivamente y las secuencias de Walsh.

2.5.4 Códigos PN

Una señal de espectro ensanchado es generada por medio de una señal pseudoaleatoria que se denomina secuencia PN la cual está en el dominio del tiempo, cumple con ciertas características las cuales posibilitan que al combinar dicha secuencia con la información a transmitir, esta última quede enmascarada (ensanchamiento) dando la impresión de ser ruido, este proceso es realizado en el transmisor. Esta secuencia permite que después del proceso de desensanche, la señal original sea recuperada en el receptor.

Las secuencias PN son generadas a través de un registro de desplazamiento realimentado Linear Feedback Shift Register Generador (LFSRG), se identifican por medio de un polinomio generador o por la longitud de periodicidad del código $L=2^N-1$, donde L es la longitud del código y N es el número de estados.

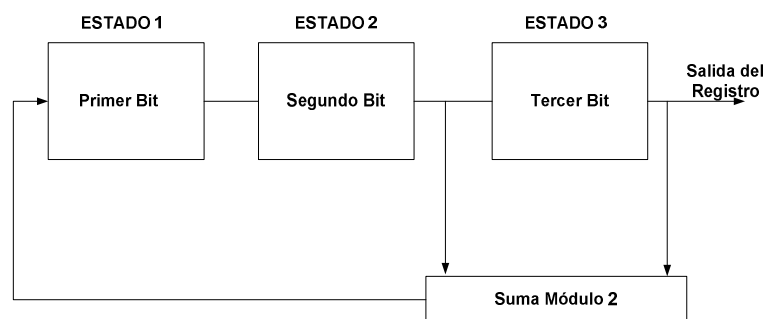


Figura. 2. 14. Generador de secuencias PN, mediante registros de desplazamiento

Los bits 2 y 3 se suman con módulo 2, este resultado realimenta al registro, es decir pasa a ser el bit 1.

Las secuencias pseudoaleatorias deben satisfacer las siguientes propiedades.

- El número de 1's, en un período de la secuencia, difiere en 1 del número de 0's
- Dentro de la secuencia se definen cadenas de 1's y cadenas de 0's. El número de cadenas de cada uno deben ser iguales. En cada período la mitad de las cadenas del

mismo signo tiene longitud 1, un cuarto tiene longitud 2, un octavo longitud 3 y así sucesivamente.

Las secuencias PN utilizadas en CDMA son las secuencias PN de código largo, la cual se obtiene utilizando por cada usuario una máscara de 42 bits que se forma con el número serial del terminal móvil es decir es único por cada usuario. El procedimiento es parecido al ejemplo anteriormente visto, con lo que se obtiene un bit de código de expansión largo único cuya tasa de símbolos es de 1.2288 Mcps (chips por segundo).

2.5.5 Funciones de Walsh.

Las funciones de Walsh se utilizan para expandir los bits de información y proporcionarles redundancia. Estas funciones se obtienen a través de una matriz NxN bits. Se hacen iguales el primer, segundo y tercer cuadrante, el cuarto cuadrante se invierte, como se muestra en la Figura 2.15.

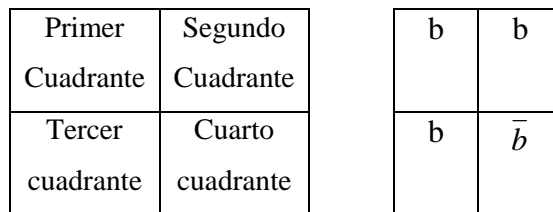


Figura. 2. 15. Generación de las funciones Walsh

Sea

1	1
1	0

Se puede obtener un arreglo de 4x4

$$\begin{array}{cc|cc}
 b & b & b & b \\
 b & \bar{b} & b & \bar{b} \\
 \hline
 b & b & \bar{b} & \bar{b} \\
 b & \bar{b} & \bar{b} & b
 \end{array}$$

da como resultado

$$\begin{array}{ccc|cc} 1 & 1 & 1 & 1 & \\ 1 & 0 & 1 & 0 & \\ \hline 1 & 1 & 0 & 0 & \\ 1 & 0 & 0 & 1 & \end{array}$$

Los códigos resultantes se toman por cada columna; es decir $C_0=1111$, $C_1=1010$, $C_2=1100$, $C_3=1001$. En los sistemas IS-95 se usa un conjunto de 64 secuencias de código son denominados códigos Walsh y proveen 64 secuencias ortogonales, los que se obtienen de una manera similar a la anterior con un arreglo de 64×64 , es decir 64 secuencias de códigos disponibles.

El transmisor de la BS, modula y transmite a la vez los diferentes canales, cada uno de ellos con un código Walsh distinto.

Cuando se usa código Walsh se debe tener una sincronización bastante alta, para que se puedan recuperar las señales, esto es debido al requerimiento de ortogonalidad del código.

2.5.6 Secuencia directa DS-SS

Si se considera un caso de CDMA de secuencia directa, en la cual se tiene N usuarios usando DS-SS en sus transmisiones, cada uno emplea su propio código. Los códigos de los usuarios son casi ortogonales, por lo tanto la correlación cruzada de dos códigos distintos es casi nula, restando apenas el ruido aditivo del canal, lo que va a facilitar la recuperación de la señal deseada en el receptor al cual llegan múltiples señales de diferentes transmisores, una baja correlación cruzada también permite minimizar la diafonía (cruce de señales entre diferentes pares que perjudica la claridad de la señal) que está presente en la multiplexación de señales.

Autocorrelación. Se entiende por correlación cruzada al grado de correspondencia entre un código y sí mismo con un retardo de tiempo T.

$$S_1(t)S_1(t-T)^{16}$$

¹⁶ Tomado de Tesis Nancy Paredes Migración de Sistemas Celulares GSM y CDMA en el Ecuador

Correlación Cruzada. Es el grado de correspondencia entre códigos distintos desplazados en el tiempo.

$$S_1(t)S_2(t-T)$$

El procedimiento a seguir para conseguir el ensanchamiento del espectro es multiplicar la secuencia de información $x(t)$, por una secuencia binaria de esparcimiento o secuencia pseudoaleatoria $s(t)$, la cual va a tener un tasa de transmisión (T_c) mayor a la tasa de la señal original (T_b) como se muestra en la Figura 2.16.

$$s_n(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} a_n p_T(t - nT_b)$$

Ecuación. 2. 9.

$$c(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} r_n p_a(t - nT_c)$$

Ecuación. 2. 10

Donde a_n y r_n son los bits (+1,-1) de las secuencias ortogonales p_t y p_a son los pulsos rectangulares con período T_b y T_c , cuando se multiplica en el dominio del tiempo $x(t).s(t)$, en el dominio de la frecuencia se produce una convolución, y al ser $T_b \gg T_c$, se produce el esparcimiento, es decir que el ancho de banda va a ser igual a B_c ya que es \gg que B_b , donde B_b y B_c son los anchos de banda correspondiente a los pulsos T_b y T_c respectivamente.

La modulación que se usa es PSK la señal original $s_n=b(t)\cos W_0t$ se multiplica por una secuencia ortogonal $C(t)$, para conseguir la señal de espectro esparcido $S_w(t)$

$$s_w(t) = c(t)s_n(t)$$

$$s_w(t) = c(t)b(t)\cos W_0t$$

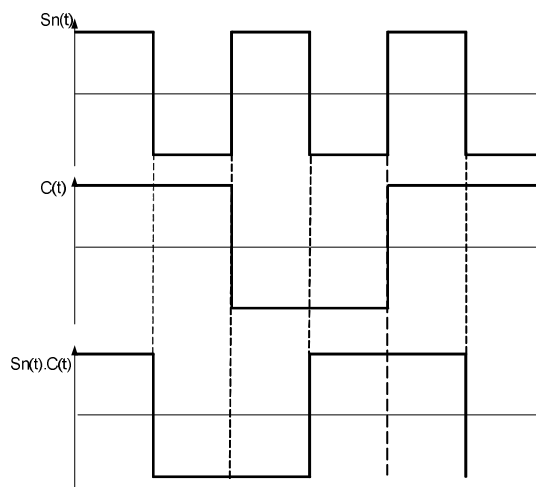


Figura. 2. 16. Procedimiento de esparcimiento del espectro radioeléctrico

Para recuperar la señal en el demodulador se multiplica la señal esparcida por un código idéntico al del transmisor:

$$s_w(t) = c(t)^2 b(t) \cos W_0 t$$

En cualquier instante de tiempo $c^2(t)=1$, debido a la ortogonalidad del código, por los que la ecuación se transforma en $s_n=b(t)\cos W_0 t$, es decir se recupera la señal original que vuelve a ocupar el ancho de banda B_s inicial

Si se considera a $g(f)$ la densidad espectral de potencia de la señal a transmitir antes del ensanchamiento y $g_{ss}(f)$ representa la densidad de potencia después del mismo. En primera instancia se puede ver que $g(f)$ ocupa un ancho de banda W , Figura 2.17.a, y la densidad de potencia de ruido blanco (N_0) ocupa un ancho de banda infinito. Después del proceso Figura 2.17.b la densidad espectral de potencia de la señal ocupa un ancho de banda W_{ss} , el ruido se mantiene constante. Como resultado del proceso de ensanchado se observa que la densidad espectral de la señal original $g(f)$ se transforma en $g(ss)$.

Si la señal ensanchada es interferida en el canal de comunicación por otra señal $i(f)$ Figura 2.17.c, al llegar al receptor las dos señales se van a multiplicar por el código PN del receptor, que es el mismo código usado para esparcir la señal original, entonces se producirá un desensanchamiento para la señal $g_{ss}(f)$ y un ensanchamiento para la señal $i(f)$, esto permitirá finalmente recuperar la información contenida en la señal original Figura 2.17(d).

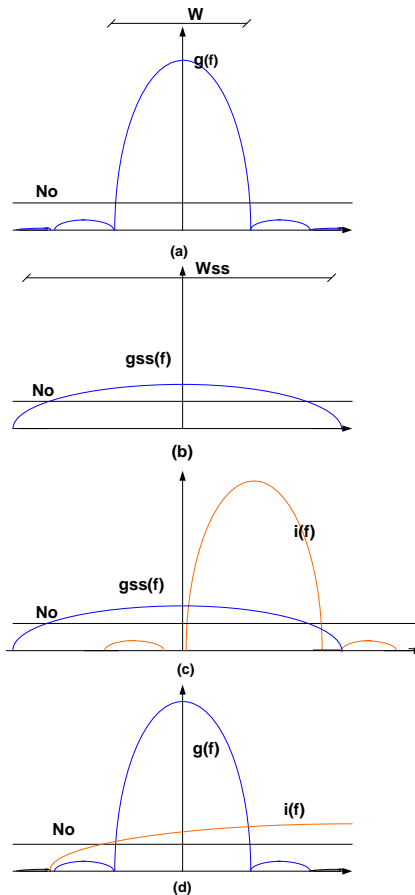


Figura. 2. 17. Recuperación de la señal

Como se ha visto la señal deseada se recupera al ser multiplicada en el receptor con la señal chip sincronizada (secuencia de los usuarios sincronizados chip a chip), sin embargo, el resto de los canales CDMA quedan ensanchados por tener un código diferente, y por tanto, su energía se distribuye en una región mucho más amplia. Cuantitativamente, estas señales no deseadas se reducen en un factor T_b/T_c donde T_b es la longitud del bit de la señal original y T_c es la longitud de la señal del chip. Este cociente se denomina ganancia de procesamiento.

Al ser $T_c \gg T_b$ las señales se reducen a nivel del ruido.

2.5.5.1 Ganancia de procesamiento

Este es un parámetro fundamental en la modulación de espectro, la cual está definida por:

$$G_p = \frac{\text{Ancho de banda de la señal modulada}}{2(\text{Ancho de banda de la banda base})}$$

Las unidades que representan la ganancia son los dB ($10 \log G_p$) y básicamente expresan el factor en que son reducidas las interferencias en el receptor debido al ensanchamiento que sufren estas cuando son multiplicadas por el código PN en el proceso de recepción.

2.5.7 Sistema IS-95 A

También conocida como cdmaOne-2G esta tecnología es de propiedad del CDMA Development Group (CDG), nace como una nueva interfaz de aire, el protocolo especificado es DS-SS-SSA, entre sus ventajas más importantes están:

- La planificación de frecuencias se hace mínima, ya que ahora la planificación consiste en la repartición de códigos.
- Al ser CDMA limitada por el ruido mas no por la interferencia, la potencia en la transmisión es baja.
- La confiabilidad de la red aumenta por medio del uso de la funcionalidad de soft handoff, lo que reduce notablemente la tasa de llamadas caídas.

Los parámetros de IS-95A definen un estándar de compatibilidad para telecomunicaciones móviles celulares con la técnica de espectro ensanchado, asegurando así que cualquier sistema celular que siga este estándar sea compatible, este estándar especifica la generación de canales, el proceso de llamadas, y los handoffs.

2.5.7.1 Handoffs en CDMA

En CDMA existen tres tipos de Handoff:

- Soft handoff
- Hard Handoff
- Idle Handoff

Soft handoff. Generalmente es este tipo de Handoff el que utiliza IS-95A debido a que se usa múltiples BS's. En este tipo de traspaso se establece una nueva conexión con otra BS antes de romper conexión con la actual. Esto es factible ya que las celdas ocupan la misma frecuencia, y porque utilizan un rastreador en el receptor, el cual combina las señales más fuertes que van al receptor y las transforman en una señal más robusta. El

móvil detecta la señal piloto nueva mientras se moviliza a la siguiente área de cobertura y se realiza la conexión. como se muestra en la Figura 2.18.

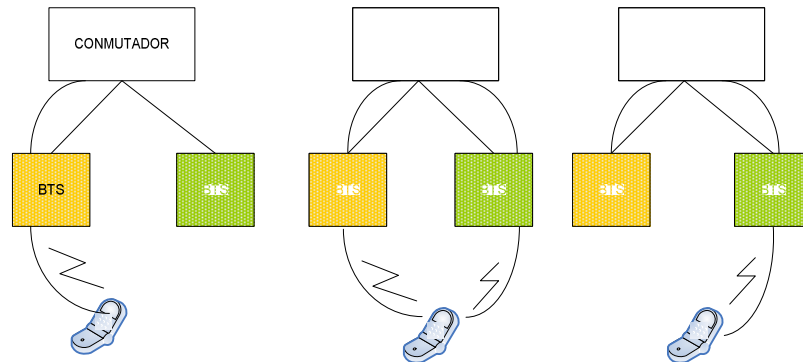


Figura. 2. 18. Procedimiento de Soft handoff

Hard handoff. El hard handoff se produce cuando el móvil va a pasar de un sistema digital como CDMA a un sistema análogo como TDMA, en este caso se requiere romper la conexión con la antigua BS antes de hacer conexión con la nueva BS, ya que los sistemas analógicos no tienen soft-handoff. El proceso inicia cuando la señal de otra BS es más fuerte que la actual, es decir cuando el móvil se encuentra en el borde de la celda CDMA, entonces el móvil debe cambiar de digital a análogo.

Idle handoff. EL Idle handoff se realiza cuando el móvil a través del canal piloto detecta señales externas que sean más fuertes que la señal piloto actual, cuando la encuentra lo único que hace es atender al nuevo canal piloto, este traspaso se realiza sin intervención de la BS.

2.5.7.2 Arquitectura de la red IS-95A

La empresa Qualcomm posee gran cantidad de derechos de la propiedad intelectual del sistema celular cdmaOne, y solamente ha promovido la estandarización de la interfaz de aire IS-95A, la arquitectura básica de este sistema se muestra en la Figura 2.18.

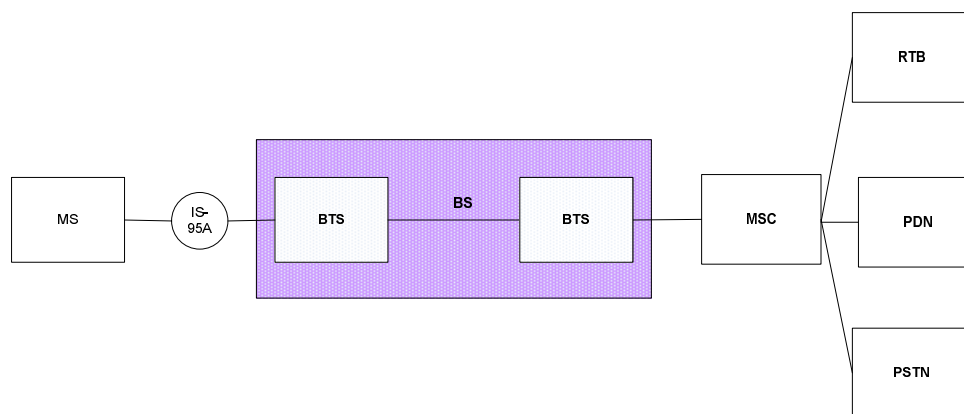


Figura. 2. 19. Arquitectura Básica de red IS-95A

MS. Estación móvil (usuario)

BS. Estación base, en este bloque se tiene dos arquitecturas, en la primera la funcionalidad del control de estación base (BSC) está integrada con la estación radio (BTS), y la segunda donde el controlador es una unidad independiente.

En una red CDMA cada BS puede utilizar todas las frecuencias disponibles; es decir las celdas adyacentes pueden transmitir en la misma frecuencia (factor de reutilización = 1), ya que a los usuarios se les separa por canales de código más no por canales de frecuencia como se ve en la Figura 2.20. Lo que elimina el planeamiento de frecuencia

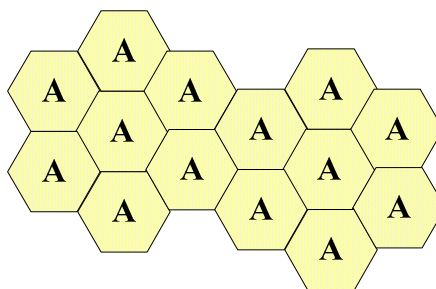


Figura. 2. 20. Rehuso de frecuencia en CDMA igual a 1

MSC. Central de conmutación celular.

RTB. Red de telefonía pública

PDN. Red de datos paquetizado (packet data network)

2.5.8 Sistema IS-95B

IS-95B es la evolución de IS-95A, entre las mejoras más destacadas que presenta están:

- El velocidad de acceso es mayor debido a que la interfaz de radio es de mejor calidad.

- Se implementó mayor seguridad al sistema.
- Soporta codificadores de tasa variable 14,4Kbps.
- El canal de tráfico puede usar hasta 7 canales suplementarios alcanzando una velocidad de 115Kbps (en la práctica 64 Kbps).

2.5.8.1 Interfaz de aire IS-95B (2.5G)

En la interfaz de aire de un sistema IS-95B existen dos enlaces, cada uno con su propia arquitectura, el primero que va de la BS a la MS denominado **enlace directo** y el segundo que va de la MS a la BS denominado **enlace reverso**, en este sistema los canales son definidos en base a frecuencias RF y códigos.

El enlace directo está formado por cuatro tipos de canales lógicos:

- Un canal piloto, identificado con el código Walsh 0
- Siete canales de paging, identificado con código de Walsh del 1 a 7 cuando uno de estos canales no está en uso se lo asigna a un canal de tráfico.
- Un canal de sincronismo, identificado por el código Walsh 32
- Los restantes códigos de Walsh son asignados al canal de tráfico, cuando lo requiera el usuario.

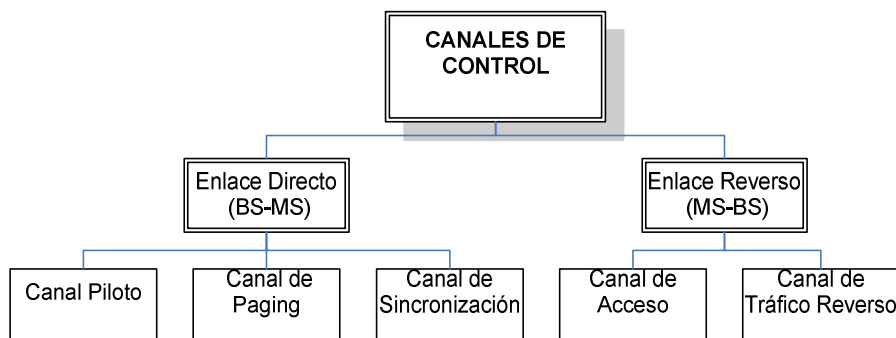


Figura. 2. 21 Canales de Control¹⁷

Un canal en CDMA es una señal centrada en una frecuencia, la cual es modulada en cuadratura (secuencias I y Q), con un offset de tiempo que sirve para distinguir cada una de las celdas. En el enlace reverso al no poseer un canal piloto se debe utilizar detección no coherente requiriéndose utilizar secuencias largas (PN de $2^{42}-1$) para la modulación asincrónica.

¹⁷ Tomado de IS-95 and Cdma2000 : Cellular/PCS System Implementation /Vijak K. Garg.

2.5.8.2 Enlace directo

El enlace directo se base en la multiplexación a través de códigos ortogonales Walsh, los cuales se basan en una matriz de 64 x 64 que genera 64 funciones de Walsh, las que se aplican en todos los canales lógicos del enlace directo como se ve en la Figura 2.22

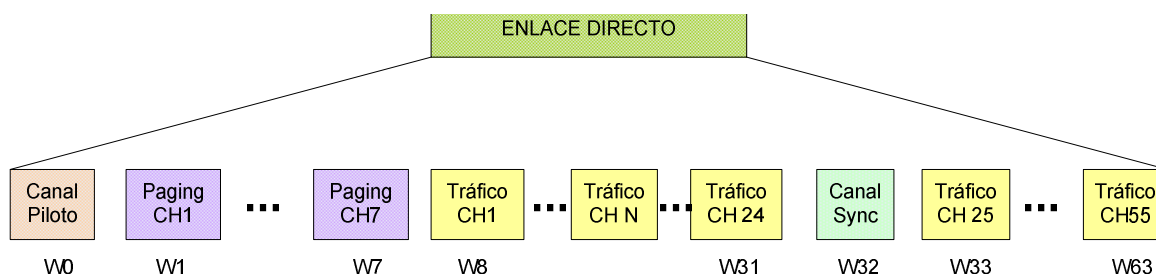


Figura. 2. 22. Canales Lógicos del enlace directo¹⁸

En el enlace directo se requiere detección coherente; es decir que la señal portadora usada en el transmisor y en el receptor debe estar completamente emparejada en frecuencia y en fase.

Canal piloto. Este canal sirve para proveer a la estación móvil una referencia de sincronismo y fase, además calcula la relación señal a ruido para determinar cual es la célula dominante del móvil, lo que va a servir para un eficiente handoff.

Está identificada por la función **Walsh 0** (64 0's), la única información que posee este canal es la secuencia PN con un offset específico que identifica únicamente el camino por el que se va a transmitir la señal.

Canal de sincronización. Sirve a la estación móvil para adquirir el tiempo inicial de sincronización, contiene información de banda base sobre sincronización y parámetros del sistema, antes de ser transmitida esta información sufre un proceso de codificación para proporcionar robustez contra la interferencia y el ruido, posteriormente los símbolos que salen del codificador se repiten adecuadamente para obtener una sola velocidad de símbolo por ejemplo para 9,6Kbps no se realiza repetición de símbolo, para 4,8 Kbps se hace una repetición y así sucesivamente.

¹⁸ Tomado de Qualcomm - Cdma 120- Cdmaone & Cdma2000 Concepts & Terminology - 2002

Cuando los símbolos estén ya con velocidad uniforme, se intercalan tomándolos por tramas, posteriormente se realiza la expansión de código en este caso con el código de Walsh 32. El canal sincrónico siempre opera a una tasa de 1.2Kbps y es codificada convolucionalmente a 4,8 Kbps Figura 2.23.

Los bits obtenidos después de aplicar el código de Walsh que tienen una tasa de 1.2288Mcps, se envían en supertramas con una duración de 96 ms, el índice de rendimiento de datos es de 96 bits/ 90ms es decir la tasa de transmisión es de 1,2 Kbps. Cada supertrama esta dividida en tres subtramas de igual longitud y duración, cada una de ellas es alineada con la secuencia corta PN del sector, de tal forma que al adquirir el móvil la sincronización con el canal piloto, quede explícito el alineamiento con el canal de señalización para así comenzar a leer el mensaje, ya que el móvil tiene información correcta del desplazamiento de la secuencia PN corta.

El canal sincrónico incluye la información del offset del canal piloto, el tiempo de sistema, el estado del código largo PN, la tasa de transmisión del canal paging.

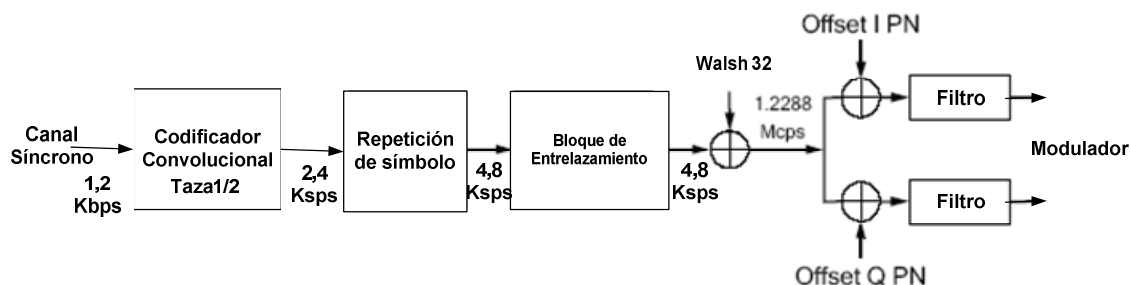


Figura. 2. 23. Diagrama de bloques del canal de sincronismo

Canal de paging. Este canal contiene información de banda base, es utilizado para enviar mensajes a los usuarios sobre llamadas entrantes, para informar a la estación base sobre las asignaciones actuales de canal y demás información importante del sistema. A diferencia del canal de sincronización este envía información a velocidades de 4.8 o 9.6 Kbps. Para adquirir tiempo de sincronización utiliza el canal de sincronización, se puede utilizar los códigos de Walsh del 1 al 7.

El código PN que usa es generado por un registro de 42 elementos (secuencia PN larga), sirve para obtener la máscara del usuario, la fase offset es importante ya que sirve para identificar la BS.

La tasa del código PN es de 1.2288 Mcps, se usa un transformador de 64 símbolos a uno denominado “Decimator”, obteniendo a la salida una tasa de muestro de 19.2 Kbps.

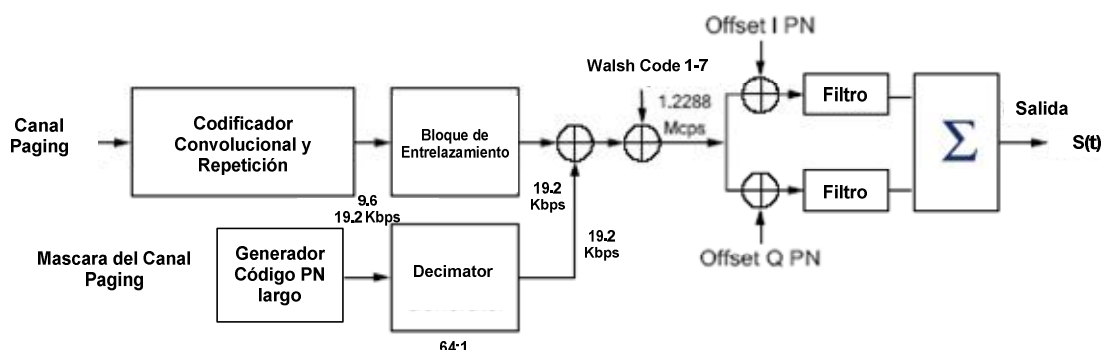


Figura. 2. 24. Canal Paging

Canal de tráfico. Este canal está presente en los dos tipos de enlace: directo y reverso, pueden operar a tasas variables: tasa completa (1), tasa media(1/2), un cuarto de tasa(1/4) y un octavo de tasa(1/8). El canal de tráfico es utilizado para la transmisión de voz, lleva datos de usuario y mensajes de señalización. El canal de tráfico directo está agrupado dentro de tasas variables (Rate Sets), RS1 está compuesto de 4 bit rates (9,6 4,8 2,4 1,2 Kbps) soporta un máximo de 8550 bps, con un adicional de 1050 bps es decir un total de 9600bps, RS2 también esta compuesto de cuatro tipos de tasas variables (14,4 7,2 3,6 y 1,8 Kbps), soporta un máximo de 13300bps, y hasta 14400bps. Todos los sistemas soportan RS1; RS2 es opcional.

Cada canal de tráfico contiene un canal de código fundamental y puede contener de uno a siete canales de código suplementarios, el canal de tráfico directo contiene bits de control de potencia (PCB) multiplexados, ya que se utilizan 7 canales para el paging y no para el sincronismo, quedan 55 canales de tráfico, además se puede utilizar alguno de los 7 canales asignados al canal paging, pudiéndose aumentar a un máximo a 56 canales.

Los datos del vocoder son codificados con protección de errores, después se realiza el entrelazado, la aleatorización de los datos es hecha a través de una secuencia PN larga decimal, la cual se genera usando una máscara única del móvil.

Los PCBs se encargan de multiplexar los datos a 800bps, y la salida es ensanchada por la secuencia de Walsh asignada al móvil, y por el código corto PN de la célula actual del móvil.

La salida de los canales lógicos se aplica al modulador, en el que se da la ganancia a las señales que están en los canales, y que van a formar parte de los canales I y Q, que se elevan en frecuencia y se suman para producir la señal de antena.

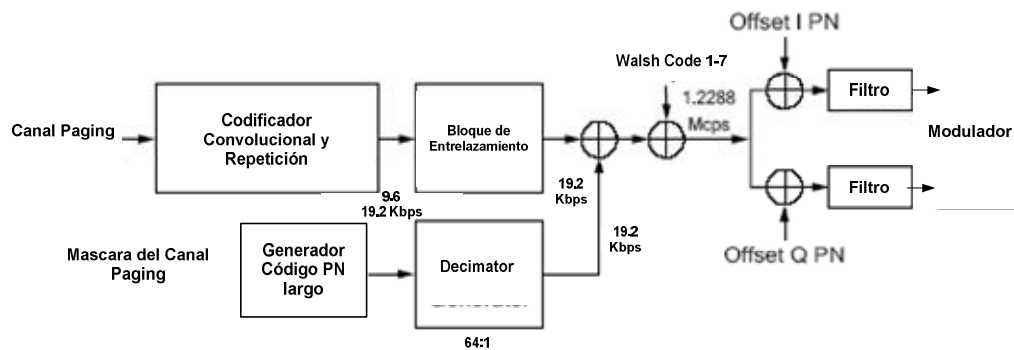


Figura. 2. 25. Canal de tráfico

2.5.8.3 Enlace Reverso

El canal reverso de IS-95B, esta formado por dos tipos de canales lógicos: el de acceso y el de tráfico. En el enlace reverso no hay canal piloto, un terminal móvil transmite en el canal de acceso o en el canal de tráfico pero nunca en los dos al mismo tiempo.

En el enlace reverso se usa detección no-coherente ya que en CDMA, no se tiene disponible la información de la fase para el receptor.

El esquema de modulación ortogonal junto a las secuencia de datos pseudoaleatorios, sirven para reducir el promedio de energía transmitida. En el enlace reverso los canales son identificados por una secuencia PN larga. Los datos de usuario son aplicados a un codificador convolutivo, y repetición de símbolos a una tasa de 19.2 Ksps (símbolos por segundo).

Canal de Acceso. El canal de acceso es utilizado por la estación móvil para iniciar una comunicación con la estación base, responde a los mensajes enviados al móvil por medio del canal paging, cuando este no tiene asignado un canal de tráfico; es decir el canal de acceso solamente se utiliza para enviar mensajes, es transmitido a una tasa constante de 4.8Kbps.

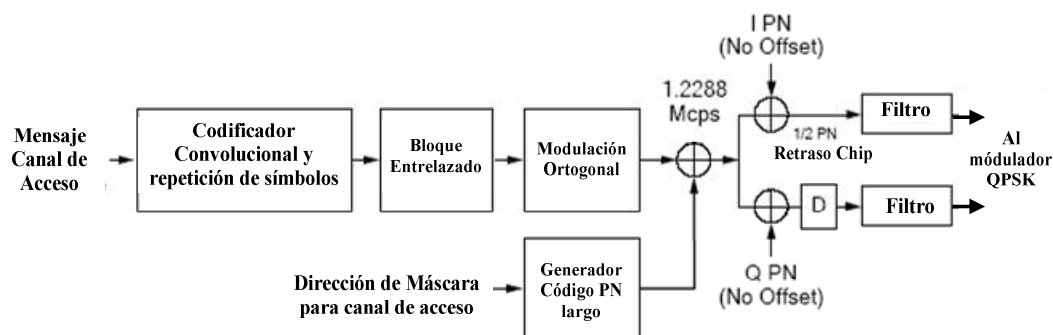


Figura. 2. 26. Canal de Acceso

En el codificador convolutivo (relación 1/3), se protege de errores a la información de banda base, se aplica repetición de símbolos a 28.8 Ksps (símbolos por segundo) y entrelazamiento. A continuación se aplica un modulador ortogonal digital 64-ario, usando 64 funciones de Walsh para representar grupos de seis símbolos, este paso es necesario debido a la naturaleza no coherente del canal reverso.

La salida del modulador ortogonal es ensanchada por un código PN largo a una tasa de 1.2288 Mcps, el cual sirve para diferenciar el canal de acceso de entre los canales del enlace ascendente, luego las ramas I y Q son aleatorizadas por códigos PN cortos, la rama Q es retrasada un chip y medio del código PN, para producir la modulación OQPSK.

Canal de tráfico. El canal de tráfico reverso se usa para transmitir datos de usuario y señal de voz, puede contener hasta 62 canales de tráfico, su arquitectura es muy similar al del canal de tráfico directo, ya que al igual que este soporta tasas variables de datos de 1200 bps a 9600 bps para RS1, para RS2 soporta tasas variables desde 1800 bps a 14400 bps.

La diferencia fundamental entre el canal de tráfico descendente (directo) y ascendente (reverso), es que en este último tiene un aleatorizador de ráfagas de datos que tienen la ventaja de reducir la actividad de voz, los cuales son transmitidos con una menor energía por símbolo reduciendo la potencia.

Se pueden usar hasta 8 canales por cada usuario (uno fundamental mas siete suplementarios), los que se consiguen con la utilización de hasta 7 máscaras de secuencia PN adicionales, derivadas de la secuencia PN del canal fundamental. Cada máscara corresponde a un salto diferente de la secuencia PN. La obtención de canales

suplementarios se realiza a través del control dinámico de recursos, cuando el móvil realiza la petición de nuevos códigos para aumentar la tasa de datos y a través de temporizadores que miden la inactividad de los canales suplementarios, con lo que se logra liberar canales que no se estén usando.

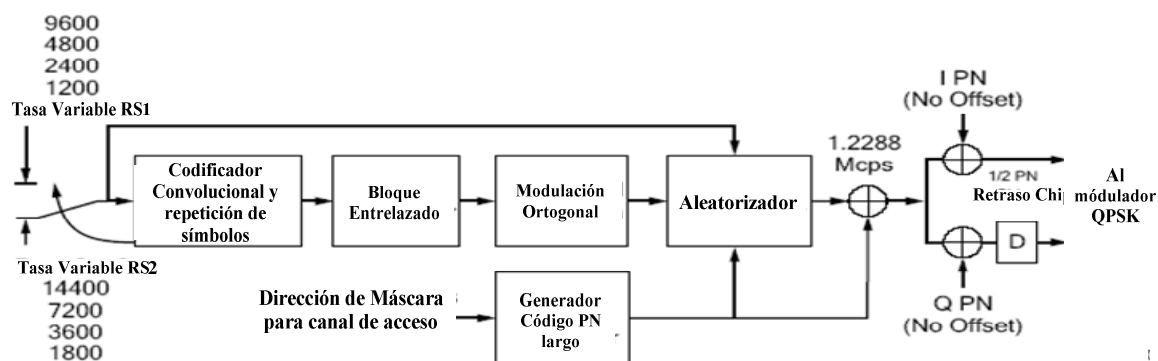


Figura. 2. 27. Canal de Tráfico reverso¹⁹

2.5.9 Modulación

El sistema CDMA utiliza modulación por cuadratura de fase, ya que brinda ortogonalidad a la señal. Para el enlace descendente se usa modulación QPSK (dos bits por símbolo), en el enlace descendente se utiliza OQPSK desplazada para evitar saltos de fase de 180°.

La secuencia de chips es codificada por dos secuencias PN diferentes denominada secuencia en fase I(In-phase), y secuencia en cuadratura Q (Quadrature), generando dos cadenas que son paralelas y modulan la fase de la portadora.

QPSK. Es una forma de modulación digital de amplitud constante, completa un ciclo en cuatro fases de salida: 45, 135, 225 y 315 grados, incluyendo las transiciones de 180°, como se muestra en el diagrama de constelación de la Figura 2.28

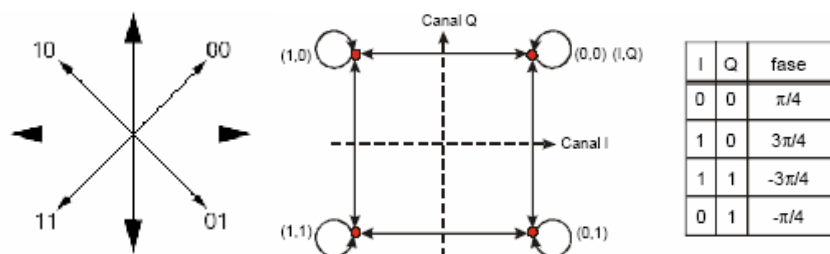


Figura. 2. 28. Modulación QPSK

¹⁹ Tomado de CDMA RF SYSTEM ENGINEERING, Movil Communications Series, Samuel C. Yang, 1998.

Offset OQPSK. Offset QPSK es una modificación de QPSK, en la que los bits pares se desplazan medio intervalo de bit con respecto a los bits impares Figura 2.29, entonces la transición de fase en que completa un ciclo es de 0 a $\pm 90^\circ$, las transiciones de fase de 180 son eliminadas en esta modulación, con lo que se consigue mejorar la característica espectral.

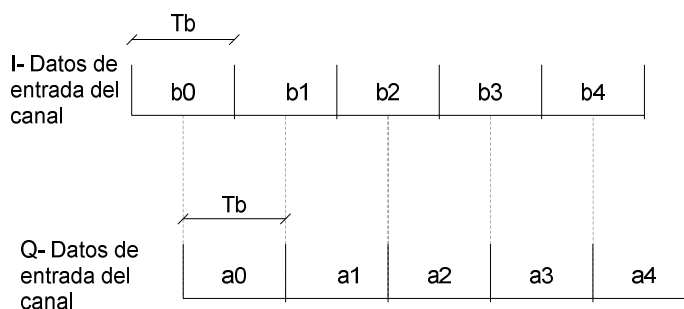


Figura. 2. 29 Modulación OQPSK

2.5.10 Control de potencia

El control de potencia es muy importante sobretodo en la reducción de los efectos de la interferencia de móvil cercano-lejano; es decir las MS más cercanas a la BS deben transmitir con menor potencia que las más alejadas, el objetivo es alcanzar la máxima capacidad del sistema, lo que se logra cuando todos los móviles son controlados para que operen a la mínima potencia posible con una calidad aceptable, con esto se logra que todos móviles lleguen con la misma potencia a la BS. Hay dos tipos de esquemas para el control de potencia.

Control de potencia en lazo abierto. En este tipo de control, la BS envía una señal al móvil, la potencia de dicha señal varía dependiendo de las pérdidas por propagación, entonces la estación móvil trata de compensar dichas pérdidas ajustando su potencia.

Control de potencia en lazo cerrado. En este tipo de control la BS envía un comando a la MS para que éste aumente o disminuya la energía que va a transmitir, el control en lazo cerrado se utiliza cuando se efectúa una llamada. El comando ha enviarse lo determina la BS basándose en la calidad de la señal que recibe del móvil, estos comandos son enviados a través del primer canal de tráfico.

2.5.10 Asignación de Recursos

CDMA es el estándar en el que se basan los sistemas PCS (Personal communication system), a continuación se nombrarán conceptos de este sistema que servirán para el posterior análisis de este estudio.

Ancho de Banda y Asignación de Frecuencias. Los sistemas celulares en Ecuador tienen asignada en la banda de los 850 MHz un espacio de 50MHz los cuales se han dividido en 2 sub bandas (A y B) cada una de 25 MHz, a la vez se ha dividido cada banda en A , A' , A'' y B, B' respectivamente. Ambas sub-bandas son divididas por igual es decir se les asigna 12,5MHz a cada una como se ve en la Figura 2.30, la primera mitad se usa en el enlace directo y la otra mitad se usa en el enlace reverso, la separación de estas sub-bandas es de 45 MHz, el ancho del canal es de 30KHz.

El estándar IS-95 determina un ancho de banda nominal de 1,23 MHz, que se ajusta en la banda A' como se puede ver en la Tabla 2.3.

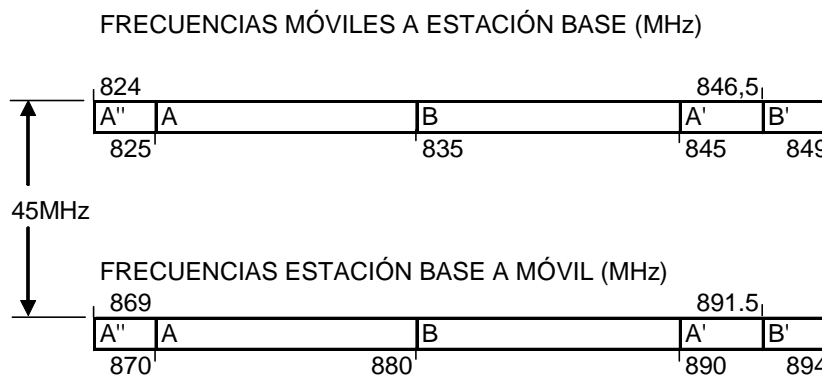


Figura. 2. 30. Distribución de las frecuencias de los sistemas celulares²⁰

BLOQUE	AB (MHz)	No DE CANALES $AB(KHz) / AB_{canal}$	FRECUENCIA CENTRAL(MHz)	
			MOVIL	ESTACION BASE
A''	1	33	824,04 825,00	869,04 870,00
A	10	333	825,03 834,99	870,03 879,99
B	10	333	835,02 844,98	880,02 889,89
A'	1.5	50	845,01 816,48	890,01 891,48

²⁰ Tomado de la Secretaria Nacional de Telecomunicaciones, Dirección de Gestión del Espectro Radioeléctrico.

BLOQUE	AB (MHz)	No DE CANALES $AB(KHz) / AB_{canal}$	FRECUENCIA CENTRAL(MHz)	
			MOVIL	ESTACION BASE
B'	2.5	83	846,51 848,97	891,51 893,97

Banda A=1+10+1.5=12,5

Banda B=10+2.5=12,5

Tabla. 2. 3. Frecuencias Asignadas a los sistemas móviles

En la asignación del espectro radioeléctrico de 50MHz existen 832 canales bidireccionales; es decir 416 para cada sub banda, en las recomendaciones de la UIT se da una relación para la asignación de frecuencias a canales celulares CDMA, como se muestra a continuación:

Transmisor	Número de Canal	Frecuencia Central (MHz)
Móvil	$1 \leq N \leq 866$	$0.03N + 825.00$
	$990 \leq N \leq 1023$	$0.03(N-1023) + 825.00$
Base	$1 \leq N \leq 866$	$0.03N + 870.00$
	$990 \leq N \leq 1023$	$0.03(N-1023) + 870.00$

Tabla. 2. 4. Asignación de frecuencias para canales CDMA en la banda de 800MHz

Para sistemas PCS el ancho de banda es de 1.25MHz, la transmisión es de 1,2288 Mcps, se deja un espacio de aislamiento de 20KHz entre canales adyacentes, por lo que el ancho de banda es de 1.23MHz, y el ancho del canal es de 50KHz.

BLOQUE	No DE CANALES $AB(KHz) / AB_{canal}$	FRECUENCIA CENTRAL(MHz)	
		MOVIL	ESTACION BASE
A	0-299	1850	1930
		1865	1945
B	400-699	1870	1950
		1885	1965
C	900-1199	1895	1975
		1910	1990
D	300-399	1865	1945
		1890	1950
E	700-799	1885	1965
		1890	1970
F	800-899	1890	1970
		1895	1975

Tabla. 2. 5. Asignación del espectro radioeléctrico para PCS

Enlace	Número de Canal	Frecuencia Central (MHz)
Reverso	$0 \leq N \leq 1199$	$0.050N + 1850$
Directo	$0 \leq N \leq 1199$	$0.050N + 1930$

Tabla. 2. 6. Cálculo de la frecuencia central para sistemas PCS²¹

²¹ Tomado de David Muñoz Rodríguez Sistemas Inalámbricos de Comunicación Personal, 2002

CAPITULO III

ARQUITECTURA CDMA 2000 EN LA BANDA DE 450MHz

3.1 INTRODUCCIÓN

En este capítulo se estudiará en detalle los componentes que conforman la red de la tecnología CDMA2000 en la banda de 450MHz, que ha sido considerada dentro de las nuevas tecnologías para aplicaciones rurales, en varios países ya se ha implementado la tecnología CDMA WLL 450-470; solo a nivel de Latinoamérica se tienen sistemas implementados en Argentina, Perú, Bolivia, Colombia, México y Brasil en este ultimo caso la tecnología en 450MHz ya está bastante avanzada.

Se hará una tabla resumen de los aspectos técnicos que requiere esta tecnología para su funcionamiento.

Se propondrá una red CDMA WLL que es la tecnología usada para zonas rurales, se explicará las razones fundamentales para dicha afirmación, se analizará las ventajas de dicha red, así como la cotización de los equipos que se requiere para su implementación.

3.2 ANTECEDENTES

A demás de crecer la demanda del servicio inalámbrico, aparecen nuevos escenarios de comunicación para nivelar el acceso mundial a las comunicaciones como lo es la zona rural, requiriéndose no sólo una red que brinde servicios de voz en una región determinada, sino que la movilidad a nivel mundial y el acceso a los servicios multimedios se han convertido en una necesidad básica y fundamental de los sistemas inalámbricos de esta época.

Son dos los organismos más importantes que tienen como misión la estandarización de este tipo de tecnologías, ambos manejan conceptos similares, pero sus objetivos aplicativos son diferentes:

- Instituto de estandarización de telecomunicaciones europeo (ETSI)

- Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT)

La ETSI, ha conformado un foro de debate que se conoce como UMTS (Universal Mobile Telecommunication System), en el que se discuten tecnologías que converjan en un único sistema que brinde servicios a todo el continente europeo.

Por su parte la Unión Internacional de Telecomunicaciones encomendó a la UIT-R (sector de radiocomunicaciones) el desarrollo de un sistema normativo global que reuniera todas las características de la segunda generación y aumentara nuevas características, en un principio los avances que se realizaban en este campo se denominaron Futuros Sistemas Públicos de Telecomunicaciones Móviles Terrestres (FPLMTS), luego se le cambió el nombre por Telecomunicaciones Móviles Internacionales (IMT-2000).

Los IMT-2000 son sistemas móviles de tercera generación que mediante varias soluciones y servicios dentro de una red integrada radiolétrica, proporciona al usuario una conexión en cualquier lugar del mundo y a cualquier hora del día.

Se ha considerado a IMT-2000 como una gran solución para dar servicios de telecomunicaciones de una manera rápida y eficaz a las áreas rurales, a países pequeños y en desarrollo.

En cuanto a la tecnología CDMA a partir de marzo de 1999, la UIT incorpora nuevas tecnologías de radio que son:

- UMTS como evolución de los sistemas GSM.
- cdma2000 o IS-2000, incluyendo la versión cdma20001x considerada inicialmente como tecnología 2.5G, como evolución de la familia cdmaOne.
- EDGE, como evolución a los sistemas TDMA y GSM.
- DECT, como inalámbrica DECT

En el proyecto IMT-2000, se señala que cdma2000 y UMTS son las tecnologías de convergencia de 3G, es decir que los sistemas 2G (cdmaOne, IS-95B, IS-136 y GPRS)

y 3G iniciales (cdma20001x y EDGE) migrarán finalmente a UMTS o cdma2000 1x EV-DO o EV-DV.

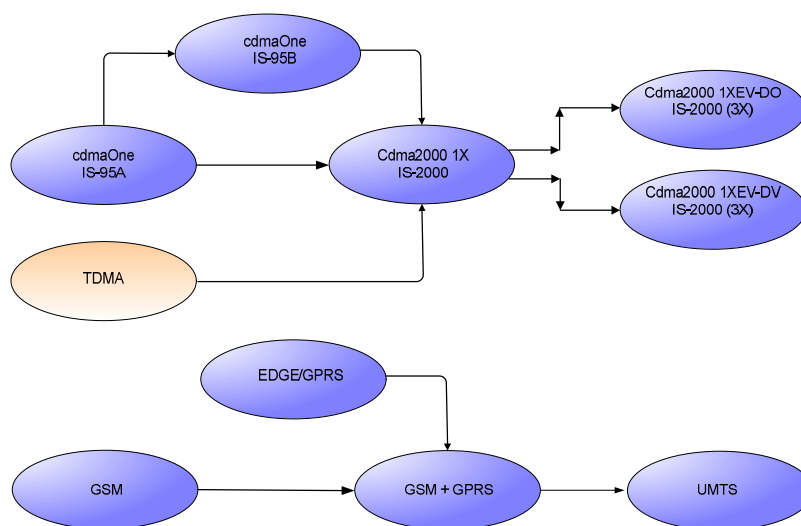


Figura. 3. 1. Evolución hacia CDMA 3G

3.3 SISTEMA CDMA2000

Como ya se mencionó el sistema cdma2000 forma parte de la serie de tecnologías 3G reconocidas por la UIT, su nombre específico es MC-CDMA (Multi Carrier - CDMA). El sistema cdma2000 está siendo especificado por el organismo 3GPP2 (Third Generation Partnership Project 2), el cual está conformado por varios organismos de estandarización como son: ARIB de Japón, CTWS de China, TTA de Corea y TTC de Japón.

Las especificaciones que definen al sistema CDMA2000 comprenden la arquitectura de red y sus protocolos. El 3GPP2 se divide en cuatro grupos técnicos:

- TSG-A, especificaciones de red de acceso de radio
- TSG-C, cdma 2000 interfaces y protocolos asociados al móvil
- TSG-S, servicios y aspectos del sistema
- TSG-X, operaciones inter-sistemas

Entre las especificaciones generales que deben cumplir todos los sistemas de IMT-2000, entre ellos cdma2000 son:

- Soportar altas tasas de transmisión
- Debe ser un estándar global
- Bandas de frecuencias comunes en todo el mundo
- Flexibilidad para la evolución
- Eficiencia de espectro mejorada
- 2 Mbps para ambiente fijo
- 384 Kbps para uso peatonal
- 144 Kbps para uso vehicular

Las mejoras realizadas se basan en la red cdmaOne, algunos de los cambios más importantes en la red se encuentran en la BS con tarjetas de elemento de canal multimodo, en la BSC con capacidad de encaminamiento IP y con la introducción de la red de servicios de paquetes (PDSN-Packet Data Service Network).

CDMA2000 utiliza la tecnología de duplexado FDD-MC (Duplexado por división de frecuencia-Multi Carrier), en este sistema el enlace ascendente utiliza una frecuencia y la descendente otra, separados por una distancia constante, una de las principales ventajas es que debido a la separación FDD, se puede aislar la recepción de la transmisión como se ve en la Figura 3.2.

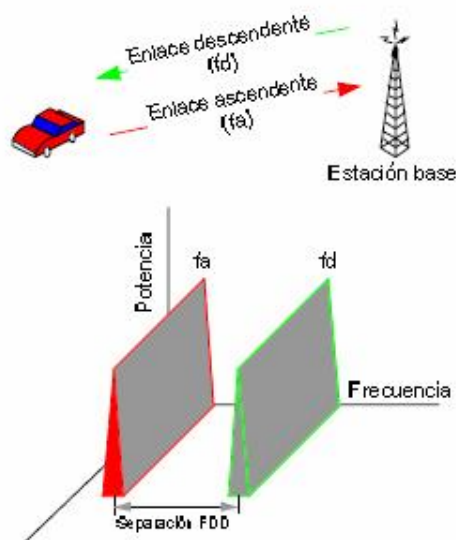


Figura. 3. 2Dúplex por división de frecuencia FDD

Cada multi-portadora implica N (canales) x1.25MHz en Cdma al igual que cdmaOne, 1xRTT puede usar un vocoder diferente y más códigos Walsh 256/128 frente a los 64 de cdmaOne, permitiendo así más conversaciones de voz así:

1x utiliza una tasa de dispersión de 1.2288Mcps

3x utiliza una tasa de dispersión de 3.6864 Mcps o (3x 1.2288)

CDMA2000 también llamado 1xRTT, se divide en tres métodos: 1x, 1xEVDO, 1xEVDV. El término 1x es usado para describir la primera fase de cdma2000, 1xEVDO significa que se usa solamente una portadora de datos, 1xEVDV, significa una sola portadora que soporta voz y datos.

Otra parte muy importante de esta tecnología es CDMA-3x, esta técnica utiliza 3.75MHz (1x1.25) en el espectro, en el que cambia el esquema de modulación

3.3.1 Arquitectura de red cdma2000

El 3GPP2 realizó una especificación que muestra el modelo de referencia del sistema cdma2000, denominado SR0005-B, en el que se especifican todos los puntos de referencia, un modelo simplificado se muestra en la Figura 3.3

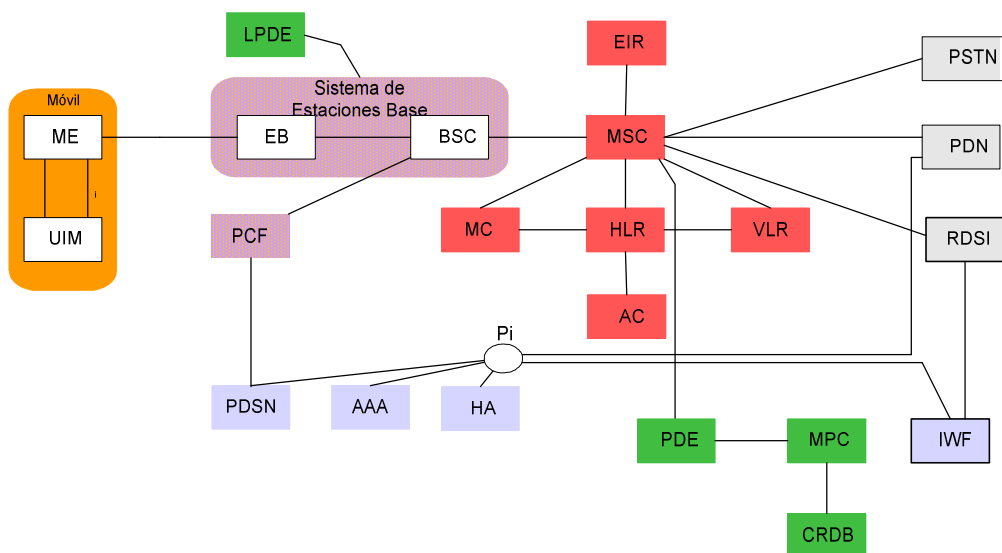


Figura. 3. 3. Red cdma2000 simplificada

Lo que más se destaca en esta arquitectura es la provisión de servicios de voz y datos a través de redes independientes, por ejemplo la movilidad general de los servicios de conmutación de circuitos se basan en el MSC, y la movilidad general de los servicios de conmutación de paquetes se basa en el nodo PDSN.

Las aplicaciones más importantes de la red CDMA2000 son:

- Internet inalámbrico
- e-mail inalámbrico
- Telecomunicaciones inalámbricas
- Telemetría
- Comercio Inalámbrico
- Servicios basados en ubicación

A continuación se describen los elementos de red del sistema cdma2000

Servidor AAA (Authentication, Authorization and Accounting). Esta entidad proporciona autenticación asociada con conexiones PPP (point to point protocol) e IP móviles, autorización (perfil de servicio, distribución y administración de la clave de seguridad) y contabilidad para los servicios de datos conmutados por paquetes.

Centro de Autenticación AC (Authentication Center). Gestiona información de autenticación relacionada con el móvil, generalmente está integrado con el HLR (Home Location Register).

CRDB (Coordinate Routing Data Base). La base de datos de enrutamiento coordinado guarda información, la misma que expresa una latitud y longitud en una cadena de dígitos.

EIR (Equipment Identity register). El registro de identidad de equipos es otra base de datos de la red que se compone de tres tipos de listas, en primer lugar la lista blanca que contiene los IMEI (Identidad internacional del equipo móvil) de los móviles que usen la red CDMA, la lista negra que contiene los equipos que pueden estar con mal

funcionamiento o equipos robados, y la lista gris que son los equipos que están siendo monitoreados para evaluación.

HA (Home Agent). El agente local es la unidad central de movilidad IP, provee funciones de autenticación, se encarga de seguir la ubicación del suscriptor IP móvil, asegura que los paquetes lleguen al móvil.

HLR (Home Location Register). Es en el registro local donde se guarda los datos de los usuarios pertenecientes a la red local, como el perfil de usuario, los servicios a los que se tiene acceso, el ESN (número de serie asignado por el operador), la ubicación, etc.

IWF (Interworking Function). La función de interconexión se encarga de la conversión de protocolos entre dos entidades de la red. La IWF está implementada con el MSC.

LPDE (Local position determining entity). La entidad local de determinación de posición se encarga de la ubicación geográfica del móvil, los LPDE se encuentran en la BS y pueden manejar varias tecnologías de localización.

MC (Message Center). Centro de mensajes es una entidad que almacena y remite mensajes cortos. El MC puede también proporcionar los servicios suplementarios para el servicio de mensaje corto (SMS).

ME (Mobile Equipment)[S.R0005-b_NRM-v1.0.pdf]. Es solamente capaz de tener acceso a la red para servicio de emergencia, no posee UIM (User Identity Module).

MPC (Mobile Position Center). El centro de posicionamiento de móviles selecciona una PDE (entidad de determinación de posición), el cual lo utiliza para determinar la ubicación de la estación móvil.

Móvil. El equipo móvil posee un UIM(módulo de la identidad de usuario) puede contener información como el NAM (módulo de la asignación del número).

MSC (Movile Switching Center). Su función principal es la de controlar el procesamiento y establecimiento de llamadas, en si se encarga del ruteo de llamadas para y desde un usuario móvil. El centro de conmutación móvil en general puede manejar varias decenas de BSCs, lo que equivale a varias decenas de miles de usuarios.

PDN(Packet Data Network). La red de paquetes de datos como Internet provee un mecanismo del transporte de paquetes de datos entre las entidades de la red capaces de soportar dichos servicios.

PDSN(Packet Data Service Node). El nodo servidor de datos por paquete enruta el tráfico de datos entre los móviles y la PDN, para un sistema cdma2000 el PDSN es el corazón de los servicios de datos empaquetados,

PDE (Position Determining Entity). La entidad de determinación de posición, realiza las mismas funciones del LPDE.

UIM (User Identity Module). El módulo de identidad del usuario contiene información de suscripción del usuario, además información de seguridad.

VLR (Visitor Location Register). En una base de datos que contiene de manea temporal con los datos de un usuario que no pertenece a su red, esto facilita el no consultar constantemente al HLR del usuario que se encuentra en roaming, El registro de visitantes es usado por el MSC para obtener información para el manejo de llamadas desde y hacia un usuario visitante de la red.

Interfases. El punto de referencia P_1 Figura 3.3 comprende las siguientes interfaces:

- Entre la IWF y la PDN
- Entre el PDSN y la PSTN
- Entre AAA y el HA
- Entre el HA y la PDSN
- Entre la PDSN y el AAA

3.3.3 Red de acceso de radio

La arquitectura de red de acceso de radio de cdma2000 es una evolución de la topología de red IS-95, en la que se especifica una función para el manejo de paquetes desde la red de radio a la red de conmutación de paquetes, el que se denomina PCF (Packet Control Function), en la Figura 3.4 se muestra la red de acceso de radio.

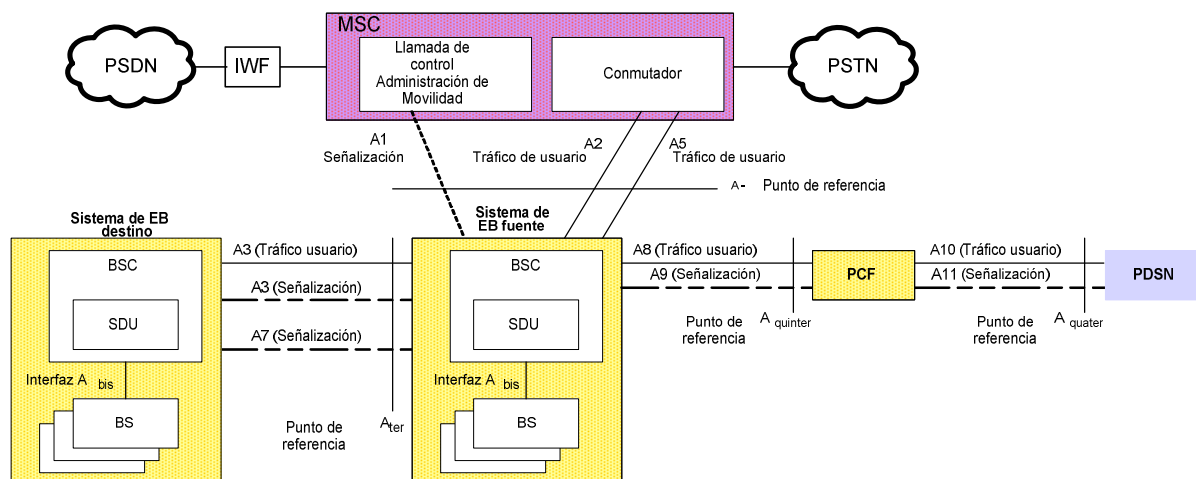


Figura. 3. 4. Arquitectura de la red de radio cdma2000 ²²

El sistema cdma2000 se comunica con la PSTN y con otros sistemas móviles a través de la MSC y con redes de paquetes de datos, a través de los nodos PDSN e IWF.

La red de acceso radio RAN (Radio Access Network), es una red basada en el protocolo IP para el transporte de todos los datos de usuario y de señalización entre todas las entidades de la red incluyendo el terminal del usuario.

El 3GPP2 TSG-S²³ es el encargado de determinar los requerimientos para la red 3G basada en el protocolo de Internet (Todo IP).

La RAN esta compuesta de los siguientes elementos:

²² Tomado de <http://www.qualcomm.com.ProdTech/cdma/training/cdma25/m6/m6p26.html>

²³ TGS-S (*Service and Systems Aspects*) Desarrolla requisitos de capacidades de servicio para sistemas basados en especificaciones 3GPP2.

BTS (Base Transceiver Station). La estación base incluye el equipamiento de radio (transmisor modulador, amplificador) provee el enlace de radio entre la red de acceso y el móvil.

BSC (Base Station Controller). Controla y gestiona una o más estaciones base. El BSC intercambia mensajes con las BS, con el PCF y con la MSC. La señalización relacionada con el control de llamada, gestión de movilidad global y la gestión del móvil pasa transparentemente por el BSC. El BSC incluye la lógica de control de radio y su interconexión con el MSC, además maneja la función de soft handoff entre BS. El BSC incluye la funcionalidad del SDU.

SDU(Selección/Distribution Unit Funtion). La función de la unidad de selección/distribución se implementa en las BSC, entre las funciones más importantes que cumple es la de señalización, manejo de tráfico, multiplexado, control de potencia, selección y distribución de tramas.

PCF (Packet Control Funtion). La función de control de paquetes gestiona la transferencia de paquetes entre las BSC y la PDSN.

Como observamos en la Figura 3.4, la RAN contiene varios puntos de referencia, que son implementados por las siguientes interfaces.

A_{bis} ver figura 3.3 se encuentra entre la BTS y BSC soporta dos tipos de comunicación: canales de tráfico a 64Kbps o de 16Kbps para tráfico y señalización. Las tres primeras capas se basan en las capas física, enlace de datos y capa de red del modelo OSI. De BSC a MSC se utiliza una conexión de 2Mbps que se conoce como la interfaz A.

A1. Encargado de transportar la información de señalización entre las funciones de control de llamada y de gestión de la movilidad en la MSC y el componente de control de llamada del BSC. La interfaz A1 se utiliza para proveer una conexión de señalización entre el BSC origen y la MSC.

A2. Encargado de transportar la información modulada PCM (Pulse Code Modulation) a una velocidad de 64Kbps, entre el componente de conmutación de la MSC y la función

SDU del BSC, además enruta las llamadas de voz y llamadas de RDSI entre el BSC fuente y la MSC.

A5. Se lo utiliza para el enrutamiento de llamadas de datos conmutados por circuito entre la BSC fuente y la MSC.

El punto de referencia A_{ter} está formado por las siguientes interfaces:

A3. Transporta voz, datos y la señalización entre la función SDU de la BSC fuente y el componente de canales de la BS del destino cuando se requiere realizar un soft-handoff.

La interfaz A3 está formada por dos partes: señalización y tráfico de usuario.

La señalización se conduce sobre canales lógicos, independiente del tráfico de usuarios, controla la asignación y uso de canales.

A7. Transporta información entre la BS fuente hacia la BS destino.

El punto de referencia $A_{quinter}$ está formado por las siguientes interfaces:

A8. Transporta el tráfico de usuario entre la BSC fuente y la PCF, para el servicio de datos conmutados por paquete.

A9. Transporta tráfico de señalización entre la BSC y la PCF, para el servicio de datos conmutados por paquetes.

El punto de referencia A_{quater} está formado por las siguientes interfaces:

A10. Transporta tráfico de usuario entre la PCF y el PDSN, para el servicio de datos conmutados por paquetes.

A11. Transporta el tráfico de señalización entre la PCF y el PDSN, para el servicio de datos conmutados por paquetes.

La red de radio CDMA2000, tiene grandes mejoras en relación a IS-95 como son:

- En el enlace directo se tiene un control más rápido de potencia
- En el enlace reverso se cuenta con el canal piloto, lo cual permite una demodulación coherente.

En la Tabla 3.1 se muestra las características más importantes de la familia CDMA, y en la Tabla 3.2 se muestra las características específicas de la tecnología CDMA2000.

Plataforma	Características
IS-95 A	En el inicio se transmitía voz con conmutación de circuitos a 9600 bps o 14,4 Kbps 64 códigos de Walsh Velocidad de transmisión 1.2288 Mcps
IS-95B	En principio se transmitía voz, datos en el enlace directo, handoff mejorado. 64 códigos de Walsh. Velocidad de transmisión 1.2288 Mcps
Cdma2000 1xRTT	Voz y Datos (datos empaquetados vía canal separado) 128 códigos de Walsh Control de potencia en lazo cerrado Velocidad de transmisión 1.2288 Mcps
Cdma2000 3xRTT	Principalmente se transmite Datos a alta velocidad 128 códigos de Walsh Control de potencia en lazo cerrado Velocidad de transmisión 3.6864 Mcps

Tabla. 3. 1. Características de la evolución de los sistemas CDMA

Parámetro	Valor
Técnica de acceso múltiple	CDMA
Esquema de duplexación	FDD
Chip Rate	Nx1,2288 Mcps (donde N puede ser 1 y 3, puede ampliarse hasta N=6,9,12)
Funcionamiento entre estaciones base	Síncrono
Longitud de la trama y entrelazado	Tramas de 5,10,20,40,80ms y entrelazado de canales
Modulación y detección	Modulación de datos: QPSK

Parámetro	Valor
	Detección: coherente con ayuda del canal piloto
Código de canalización	Código Walsh y códigos largos (UL)
Código de aleatorización	Código largo y código PN corto
Codificación de canal	Código convolucional (con $K=9$ y $R=1/2, 1/3$ y o $R 1/4$)
Esquema de acceso (enlace ascendente)	Acceso básico, acceso controlado en potencia; acceso con reserva; o acceso designado.
Control de potencia	Bucle abierto Bucle cerrado (800 Hz o 50Hz) Pasos de control de potencia: 1,0,0,5 y 0,25 dB)

Tabla. 3. 2. Características específicas de la tecnología CDMA2000

3.3.4 Topología Propuesta

La tecnología que se va a proponer es CDMA WLL en la banda de 450MHz, que es la arquitectura más usada en áreas rurales con el objetivo de tener una amplia cobertura a demás de varios motivos como son: que desde el punto de vista de los costos la inversión de infraestructura comparable con otras tecnologías inalámbricas es mucho menor, los costos de los terminales constantemente están en decrecimiento, no se gasta en abrir zanjas para fibra o cable, el costo de mantenimiento de una red inalámbrica es menor que el de una cableada, desde el punto de vista del desempeño provee una excelente calidad de voz y privacidad, rápido acceso a Internet, baja potencia, al ser en la banda UHF la cobertura es grande y tiene gran capacidad, el rehuso de frecuencia es $N=1$, se puede instalar en cualquier topografía, provee datos a una alta velocidad 1x hasta 155kbps, y en cuanto al espectro se usa de una forma eficiente ya que en una portadora de 1.25MHz puede transmitirse fácilmente 25Erlg.

Al ser una tecnología inalámbrica usada generalmente en diseños orientados a zonas rurales y con la cobertura suficiente se puede proveer varias líneas de telefonía fijas ya que al ser un proyecto piloto no se va a considerar la movilidad, además se colocaran terminales fijos en telecentros. Por lo tanto CDMA450 WLL se ajusta perfectamente a los requerimientos planteados como se muestra en la Figura 3.6.

La red cdma2000 se va a ver simplificada en algunos elementos, ya que el servicio de datos puede ser a través de canales dial-up con cdma2000 1x con datos a una velocidad de 156Kbps, por lo que no se va a necesitar el servicio de localización.

Los terminales fijos se denominan FWT(Fixed Wireless Terminal) se asemejan a un teléfono común pues brindan telefonía fija, pero además poseen puertos para conectar fax, para tener acceso a Internet a través del modem que se conecta al FWT, etc, este dispositivo se va a analizar en la sección 3.3.6.

Se va a requerir autenticación para acceder a la red a través de una base de datos de los usuarios, por lo que se va a necesitar el HLR (Home Location Register) y el HA (Home Agent) a través del AAA(Autenticación, Autorización and Acouting) en donde además se realiza la tarificación, finalmente el MSC²⁴ que se encarga de la interconexión con la red pública PSTN a nivel de señalización ⁷.

Para la transferencia de datos se va a utilizar el PDSN el mismo que está conectado a la BTS y BSC, la voz se canaliza a través de las centrales conectadas a la BSC y a la MSC. Este modelo se basa en una red IP, esta compuesta de tres partes como se ve en la Figura 3.5.

Estación Móvil: MS (Mobile Station)

Acceso a la red de radio: RAN(Radio Access Network)

El Core Central : CN(Core Network)

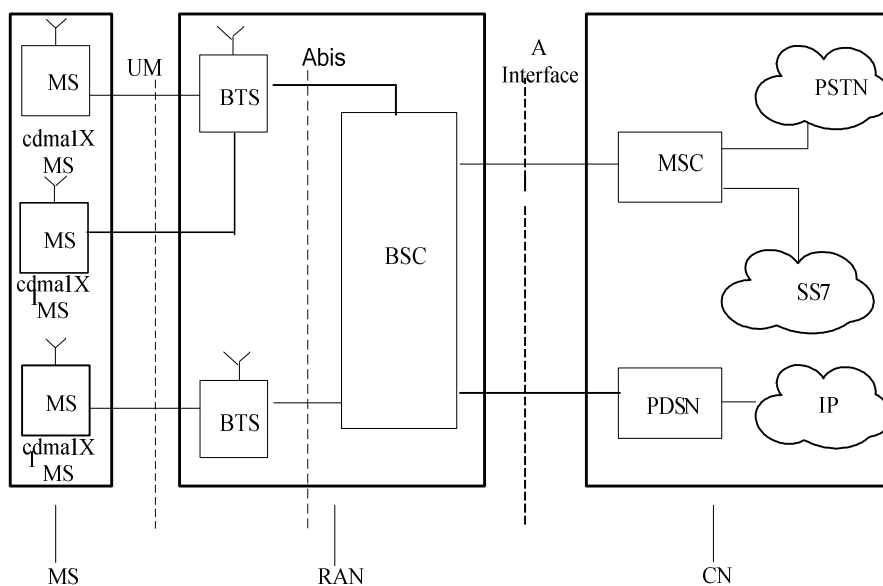


Figura. 3. 5. Diagrama de bloques de la red cdmaWLL ²⁵

²⁴ Para evitar el gasto de un MSC se podría realizar un convenio con Andinatel y Pacifictel, dentro de la normativa del Servicio Universal.

²⁵ Cortesia ZTE BSS

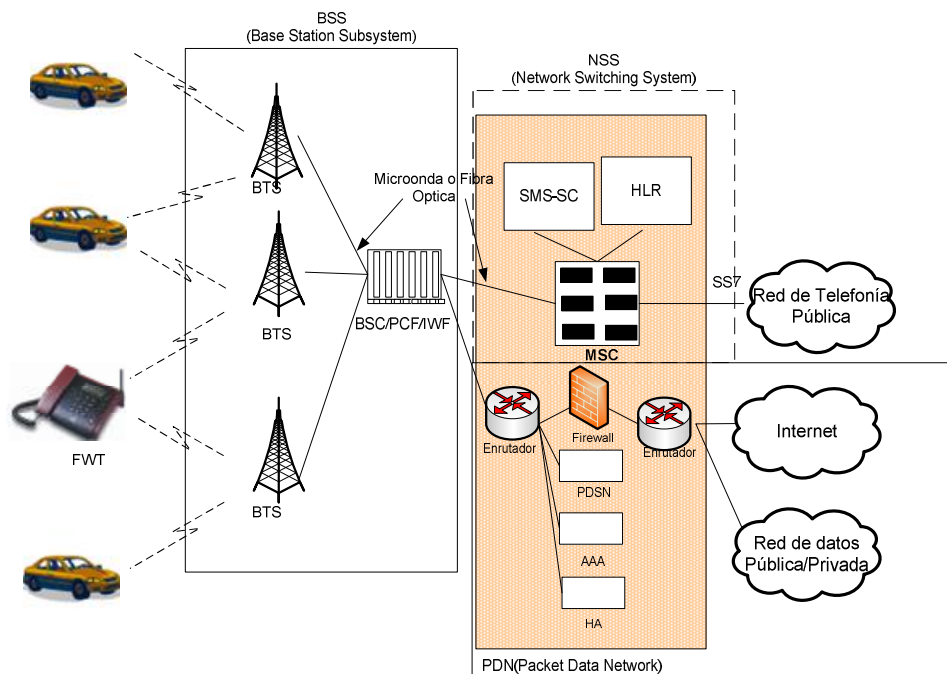


Figura. 3. 6. Topología de red cdmaWLL

3.3.5 Servicios

Los servicios que se van a proveer en las zonas rurales son:

- Transmisión de voz y datos
- Internet
- Fax.

3.3.6 Descripción de la red

A continuación se resume la función de cada uno de los componentes de la red propuesta:

FWT(Fixed Wireless Terminal). Al diagrama de red cdma2000 1xRTT se le añade un nuevo componente denominado FWT que es un Terminal inalámbrico fijo el cual proporciona los servicios especificados anteriormente, este componente será fundamental en la estructura a implantarse. Las ventajas que se va a conseguir con este dispositivo inalámbrico son:

- Soportar un amplio rango de tipos de direccionamiento, tales como asignación estática y dinámica de direcciones IP.

- Robustez en el servicio de autenticación y autorización
- Acceso inmediato a la línea telefónica principal, y disponibilidad de líneas adicionales.
- No se necesita ningún tipo de cableado.
- Calidad aceptable, elimina eco.

El FWT establece la conexión con la red telefónica local, en sí es un transceptor de RF que facilita el acceso a la interfaz de aire CDMA con un aparato telefónico estándar, se usa generalmente en áreas remotas o donde se prefiera el servicio inalámbrico. Actualmente se tiene disponible este dispositivo en la banda de 450MHz.

El FWT trabaja en frecuencias de 450MHz, 800MHz y 1900MHz, provee un enlace con la central telefónica local, los usuarios reciben el mismo grupo de características que la empresa telefónica local a los usuarios por cable.

AAA(Autentication, Autorization and Acounting). El servidor AAA se define en tres pasos que se describen a continuación:

Autenticación. Implica el validar la identidad de los usuarios, antes de permitirles el acceso a la red, dicha autenticación puede verificarse a través de un nombre de usuario/clave, también puede ser con datos biomédicos (huella digital), estos datos se comparan con la base de datos almacenados en AAA y si coinciden el usuario tendrá acceso a la red.

Autorización. Define a que servicios tiene derecho un usuario a través de la clave personal, una vez hecho esto se le concede acceso a la red, esto puede incluir la provisión de una dirección IP, utilizando filtros para saber que protocolo soporta la red. La autenticación y autorización se realizan generalmente juntas, en un ambiente AAA controlado.

Contabilidad. Provee la metodología para recolectar información acerca de los recursos utilizados por los usuarios para con esta información proceder a la facturación, revisión, y planeamiento de la capacidad de la red.

El servidor AAA, también se conoce como servidor de radio, ya que utiliza el protocolo Servicio de Usuario de Acceso remoto dial-in RADIUS(Remote Acces Dial-in User Service), para comunicarse con el PDSN mediante la autenticación vía IP asociada al PPP (point to point protocol) y a la conexión IP móvil.

RADIUS. Es un protocolo cliente/servidor central que permite que servidores de acceso remoto se comuniquen con un servidor central para autenticar a los usuarios y autorizar su acceso al sistema o al servicio para el que se ha hecho la petición, además permite mantener perfiles de usuario en una base de datos central que comparten todos los servicios remotos, el servidor central proporciona mayor facilidad para registrar el uso con propósitos de facturación o para hacer estadísticas. El objetivo de su uso en esta red inalámbrica es el de permitir el acceso, para lo cual deberá tener un nombre de usuario y una contraseña para la posterior validación de los datos. RADIUS reside en el PDSN

El proceso que sigue el servidor AAA es muy sencillo y se resume a continuación:

- El usuario se conecta con el dispositivo en el punto de entrada, y solicita el acceso a la red.
- La función cliente del servidor de acceso a la red (NAS -Network Access Server) recolecta y envía la información del usuario al servidor AAA.
- El servidor AAA procesa los datos y devuelve una respuesta de aceptación o rechazo y otros datos relevantes a la función cliente del AAA.
- En la NAS se notifica al usuario si el acceso se ha concedido o se ha negado para los recursos requeridos.

Ya que los servicios de datos de IS-95 se implementan como pequeñas conexiones de conmutación de circuitos, se hace necesario incluir un elemento de interfuncionamiento IWF (Inter Working Funtion) entre Internet y el MSC.

El punto de unión con los entornos privados IP es el PDSN(Packet Data Serving Node), es el punto de terminación del protocolo PPP (Point to Point Protocol) y está conectado al subsistema de la estación base (BSS) a través de la interfaz **R-P** (Radio Packet).

La función de control de paquetes (Packet Control Function, PCF), es un nuevo elemento del BSS para soportar la conmutación de paquetes de la interfaz R-P.

El PDSN como se dijo anteriormente es el núcleo de los servicios empaquetados del sistema cdma2000 realiza las siguientes funciones en el transcurso de una sesión de datos:

- Cuando el usuario realiza una llamada de servicio de datos, se establece una conexión punto a punto PPP (point-to-point protocol) con el suscriptor.
- Puede autenticar a la estación en este caso fija, comunicándose con el AAA.
- Establece, mantiene y termina los enlaces lógicos a la red de radio.
- Inicia, autentica, autoriza y contabiliza desde el Terminal al servidor AAA.
- Cuando el servidor AAA autentica la llamada, se determina que servicios están disponibles para el usuario, y sigue el proceso de la facturación, en este caso el PDSN actúa como cliente servidor del AAA.
- Enruta los paquetes desde y hacia redes externas de datos empaquetados.
- Una vez autenticada la llamada se puede utilizar el protocolo de Internet (IP) Internet Protocol Control.
- Recolecta datos útiles relacionados para el servidor AAA.

El enrutador direcciona paquetes a/desde los elementos de la red, también es el responsable de enviar y recibir paquetes a/desde la red interna a plataformas externas de la red, se necesita un firewall por seguridad.

El BSC es el encargado de controlar todas las BTSs que estén bajo su sector, enruta los paquetes a/desde las BTS al PDSN, además enruta el tráfico a la plataforma de conmutación de servicios.

La BTS es la radio base responsable de asignar un nivel de potencia y código Walsh al usuario, incluye el equipo de radio usado para recibir y transmitir señales cdma2000, es el encargado de controlar la interfaz entre la red cdma2000 y el suscriptor, controla las múltiples portadoras que operan en una celda, decide la manera de asignar recursos al usuario tomando en cuenta la configuración de radio, el tipo de suscriptor y si el servicio

solicitado es de voz o paquetes. Las BTS pueden asignar recursos físicos y lógicos como canales fundamentales, potencia en el canal directo, códigos walsh requeridos.

Esta arquitectura del sistema IP sin hilos es soportada sobre un sistema de transmisión de paquetes, el cual se define en dos métodos de acceso que son: Ip simple e Ip móvil.

En el primer caso un servidor asigna al móvil una dirección IP dinámica, la cual solo se podrá manejar dentro de una zona geográfica determinada.

En el segundo caso IP móvil, es la red IP local en la que se encuentra registrado el usuario la que provee una dirección IP estática o dinámica, el usuario mantiene esta dirección mientras se está moviendo por la red o por otras redes.

Ya que el servicio que se va a proveer es fijo, será suficiente con una IP simple (estática), pues no se va a necesitar el cambio de lugar. La dirección IP será provista por el PDSN, el flujo de mensajes en una sesión de datos empaquetados se muestra en la figura 3.7.

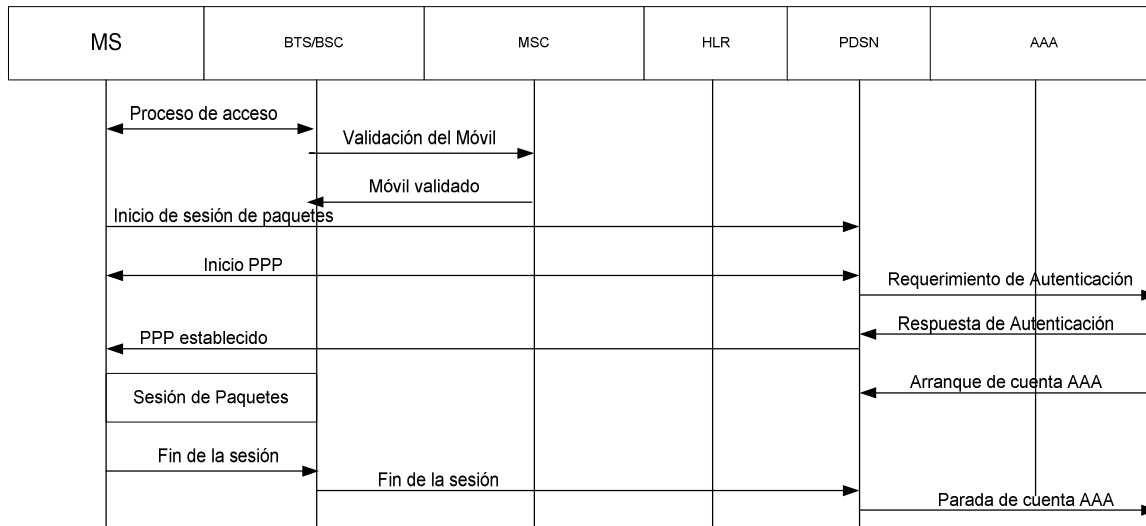


Figura. 3. 7. Flujo de mensajes para una sesión de datos empaquetados ²⁶

3.3.7 Control de Potencia

El sistema CDMA2000 soporta control de potencia sobre todos los canales excepto el piloto, el control se da de una manera eficaz ya que se mantiene la potencia mínima para

²⁶ Tomado de Folleto Ing. Carlos Usbeck

que asegure la calidad deseada. Para lo que proporciona control de potencia en el acceso directo para corregir y limitar la potencia de transmisión del móvil en el acceso inicial.

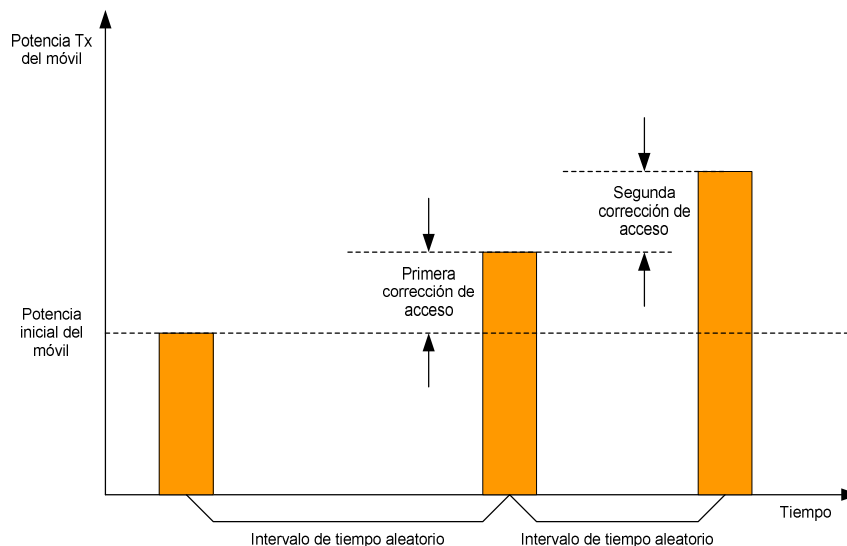


Figura. 3. 8Control de potencia en el acceso cdma2000

El control de potencia empieza cuando el terminal va a acceder a la estación base, este no está bajo control de potencia, por lo que dicho terminal debe determinar la potencia ideal de acceso al sistema, para lograr esto, el terminal transmite una serie de intentos cuando quiere acceder a una celda llamados *access probes*, los que consisten en una serie de transmisiones con un aumento en la potencia de acceso. El primer intento es a una potencia baja, espera una respuesta de la estación base en un tiempo aleatorio del terminal si se sobrepasa este tiempo, se vuelve a transmitir a una potencia un tanto más alta, la diferencia de potencia entre un intento y otro se denomina *corrección de acceso*, este proceso se repite hasta que el terminal reciba la aceptación de la estación base, utilizando este valor como inicio de las transmisiones.

Control de potencia en el enlace reverso. Consiste en dos lazos, el primero externo de velocidad baja se utiliza para controlar el objetivo de calidad FER²⁷ (frame error rate) el segundo interno que sirve para controlar que el nivel de señal recibida sea el ideal para alcanzar un cierto FER.

²⁷ La tasa de errores se mide en términos de FER(Frame Error Rate).

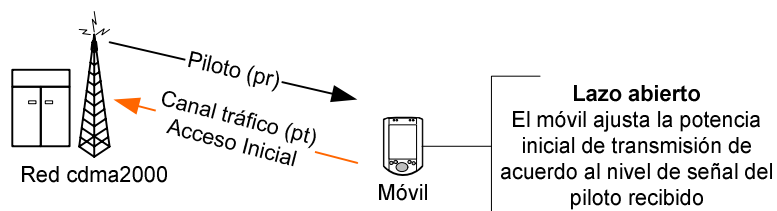


Figura. 3. 9. Control de potencia en el enlace reverso

El control de potencia de lazo abierto es realizado por el terminal móvil sin que intervenga la estación base y se realiza de manera continua desde el momento que el terminal recibe la aprobación de la estación base para el acceso, entonces comienza a transmitir por un canal de tráfico, cuando la llamada se establece y el móvil se traslada alrededor de la célula las pérdidas relativas al trayecto entre el móvil y la estación base cambian. El móvil monitorea continuamente el nivel de señal que recibe de la estación base (pr), asumiendo unas pérdidas similares en el enlace directo y reverso, ajustando la potencia transmitida del móvil (pt). El control de potencia de lazo abierto tiene como principal objetivo minimizar los efectos de los desvanecimientos suaves y absorber las variaciones lentas de la potencia.

En el control de potencia de lazo cerrado la estación base interviene monitorizando continuamente la calidad del enlace ascendente, por medio de su Tasa de Errores de Trama (FER) y la relación energía de bit por densidad de potencia de ruido E_b/N_0 , con lo que se puede determinar si se debe aumentar la potencia del móvil o disminuirla. Se toma inicialmente la relación de E_b/N_0 ya que se requiere mucho tiempo en la estación base para acumular un número suficiente de bits para un cálculo confiable del FER. En el control del móvil para aumentar o disminuir la potencia, la estación base inserta un bit de control de potencia denominado (PCB), los que se introducen a una velocidad de 800 bps, cada bit indica si el móvil debe aumentar o disminuir (± 1 dB) la potencia transmitida. Cuando el móvil se encuentre en soft handoff este bajará la potencia si cualquiera de las dos estaciones lo manda a bajar la potencia, el móvil solo la aumentará en caso de que todas las células le den esa orden.

El control de potencia de lazo cerrado es realizado en dos procesos conjuntos:

Lazo interno. Se conoce una relación Señal-Ruido (SNR) constante y que se debe cumplir ya que es la base sobre la que se toma decisiones de aumento o disminución de

potencia, mientras que la relación E_b/N_0 y la calidad de enlace (FER) no es constante, estos parámetros dependen de la interferencia y de la carga de la célula, se debe calcular constantemente el valor de E_b/N_0 con un determinado FER.

Lazo externo. Calcula a través de la señal recibida y el FER “, el valor objetivo” del valor E_b/N_0 que se debe cumplir. con un determinado FER. En conjunto, la potencia del móvil está sujeta al control de potencia de lazo abierto y de lazo cerrado (interno y externo)

Ya que el estándar IS-95 no especifica ningún algoritmo de lazo cerrado, los proveedores de equipos tienen la potestad de manejar sus propios algoritmos en cuanto a control de potencia se refiere.

Control de potencia en el enlace directo. El móvil tiene que reportar a la célula la calidad en el enlace descendente, continuamente el móvil esta monitoreando el FER en el enlace descendente, y lo reporta a la estación base en un mensaje denominado power measurement report message (PMRM). El reporte puede ser periódico o solo cuando el FER excede cierto umbral. Entonces la estación base al conocer la calidad del enlace descendente, puede entonces ajustar la potencia transmitida para este móvil particular.

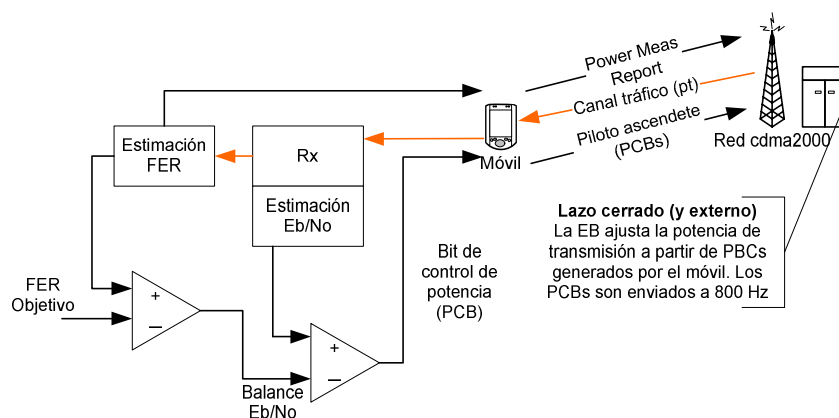


Figura. 3. 10. Control de potencia en el enlace directo

El sistema cdma2000 añade el control de potencia de lazo externo en el enlace descendente de IS-95, basado en la estimación y reporte FER y típicamente de baja velocidad ya que se reporta a través de mensajes de señalización; el control de potencia es rápido e interno, lo que posibilita un control de potencia más eficaz sobre el enlace descendente.

El control de potencia rápido (velocidad máxima de 800 bps), se basa en el subcanal de control de potencia ascendente (Reverse Power Control Subchannel) que contiene los bits de control de potencia. Estos bits reportan la calidad de las tramas recibidas por el móvil en el enlace descendente. De acuerdo al valor de estos bits, la estación base aumenta o disminuye la potencia de los canales F-FCH, F-DCCH y F-SCH. El subcanal de potencia ascendente se transmite a través del canal piloto ascendente R-PICH, que se transmite continuamente al estar activo un canal en el enlace ascendente. El canal R-PICH se transmite cuando se transmite cualquiera de los siguientes canales: R-EACH, R-CCCH, R-FCH (RC 3-6).

3.4 EQUIPAMIENTO

QUALCOMM al ser la empresa propietaria de gran parte de los estándares de CDMA450 es la que distribuye los chips de software a distintos fabricantes como son: AnyData, Axesstel, Compal, Giga Telecom, GTRAN, Huawei, Hyundai, Syscomm (Curitel), Synertek, Topex y ZTE.

Para el análisis del equipamiento de la red CDMA450, ZTE ha facilitado los manuales de los equipos que se requeriría en la red indicada.

A continuación se detalla un ejemplo de equipos que se podrían usar en la red CDMA WLL 450.

3.4.1 Terminal Inalámbrico Fijo

El Terminal inalámbrico fijo es parte fundamental de red CDMA WLL, ha sido creado específicamente para sistemas de acceso digital rural, con una alta calidad y confiabilidad.

Además de la función de llamada este dispositivo provee servicio de datos de Internet, soporta tarjeta UIM y Fax entre otros, para estas funciones se necesita la tarjeta UIM() y el software para PC fax.

Las especificaciones técnicas se muestran en la Tabla 3.3.

Parámetros	Características
Normas de interfaz aérea	IS-2000 CDMA2000 1X
Potencia de Transmisión	Máxima: 24.7 dBm
	Mínima: 23 dBm
Velocidad de Transmisión	153.6Kbps
Rango de Frecuencia	Tx: 452.5~457.5MHz
	Rx: 462.5~467.5MHz
Capacidad de tráfico	30merlang por usuario
Máxima desviación de frecuencia	±300Hz
Sensibilidad	-106dBm
Rango	1.23MHz
Polarización	Vertical
Velocidad de transmisión	Se realiza a una tasa máxima de 153.6 kbps.
Interfaz inteligente	RJ-11
Interfaz de datos con la PC	RS-232, DB-9
Dimensiones	20cm x 17,4cm
Display	LCD, 14 caracteres, 1 línea

Tabla. 3. 3. Especificaciones del Terminal Fijo FWT

La instalación es práctica y sumamente fácil como se muestra en la Figura 3.12, provee servicios de datos, acceso a Internet, fax y teléfono, toda su tecnología se basa en IS-2000 y otros estándares relevantes de la norma cdma2000 1x.

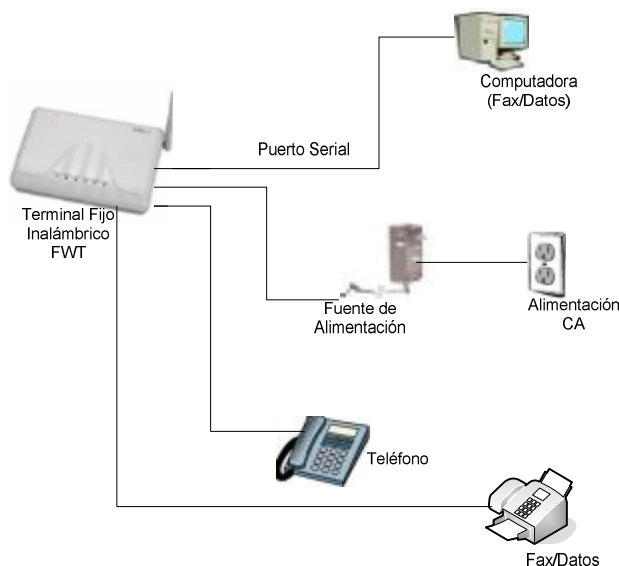


Figura. 3. 12. Conexión del Terminal Inalámbrico Fijo

3.4.2 Estación Radio Base

Cumple la función inalámbrica para CDMA450MHz, este equipo comprende el subsistema de banda base digital BDS (Baseband Digital Subsystem), el subsistema de radio frecuencia RFS (Radio Frequency Subsystem) y el subsistema de velocidad de frecuencia (Timing Frequency Subsystem).

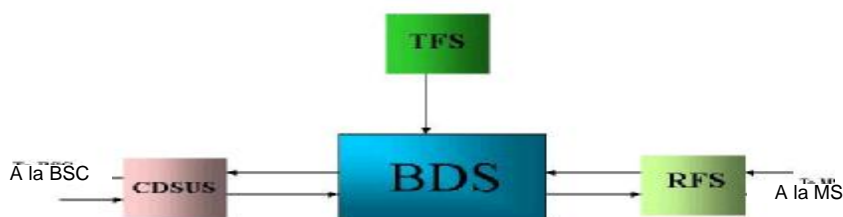


Figura. 3. 13. Hardware interno de la BTS

TFS (Timing Frequency Subsystem). El subsistema de medición de tiempo, utiliza un receptor que recoge información basada en satélites, para la sincronización de tiempos y frecuencias de referencia.

BDS (Baseband Digital Subsystem). El subsistema digital de banda base, realiza funciones como el softer handoff, la recepción RAKE y el control de potencia, representa satisfactoriamente las características de CDMA.

RFS (Radio Frequency Subsystem). El subsistema de radio frecuencia proporciona la interfaz de aire.

CDSU (Channel/Data Service Unit). La unidad de servicios de canales de datos es utilizada para transmitir la información hacia la BTS.

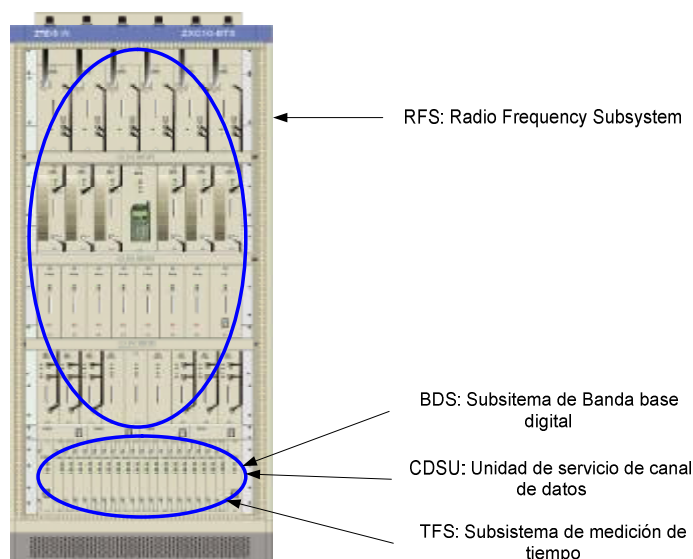


Figura. 3. 14. Estructura interna de la cabina de la BTS



Figura. 3. 15. Micro BTS para la banda de 450 MHz

Parámetros	Características
Número de Portadoras	2 portadoras para 450MHz
Potencia de Transmisión	30W para 450MHz
Velocidad de Transmisión	153.6 Kbps
Rango de Frecuencia	Tx: 463MHz~467.5MHz Rx: 453MHz~457.5MHz
Sensibilidad	-117dBm
Sectores	Omni / 1, 2 o 3 sectores
Canales	Para tres sectores 128 canales Omnidireccional 380 canales
Capacidad	Soporta 16E1
Figura de ruido	5dB
Desviación Estandar	0.5dB
Voltaje de funcionamiento	220 AC ó 48 DC
Dimensiones	80cm x 40cm x 25cm

Tabla. 3. 4. Especificaciones de la BTS

3.4.3 Controlador de la Estación Base

La BSC es la parte de control de la BSS (Base Station Subsystem), entre las funciones principales de la BSC se incluyen la gestión de recursos inalámbricos de la red y la codificación de la voz, este equipo comprende: el subsistema selector del vocoder, el subsistema de enrutamiento, el subsistema de control de paquetes, el diagrama interno del BSC se muestra en la figura.

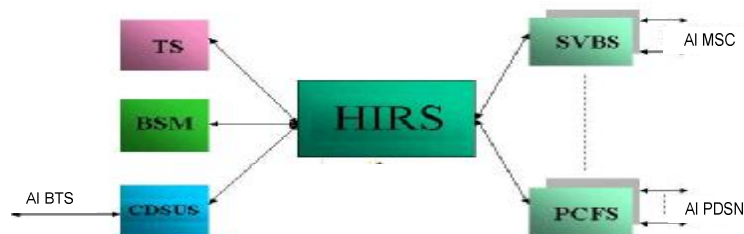


Figura. 3. 16. Diagrama interno del BSC

SVBS (Selector/Vocoder bank subsystem). El subsistema selector/vocoder SVBS es la pieza esencial para ejecutar la selección de datos, de servicios de voz y conmutación de circuitos basados en datos. Puede también proporcionar interfaz externo, y apoya SS7.

HIRS (High-speed Internet Route Subsystem). El subsistema de enrutamiento para Internet a alta velocidad HIRS es el centro de las comunicaciones, además es la plataforma para la conmutación de los datos, ofreciendo el servicio de transmisión de datos de paquetes a los subsistemas tales como SVBS.

3.4.4 PCFS (Packet Control Function Subsystem)

El subsistema de control de paquetes de datos, es la plataforma que maneja la conexión entre las BSC y el PDSN, maneja la entrada de acceso a la BSC, realiza servicios de selección de datos y de paquetes de datos. Provee las interfaces de entrada de de A8/A9 y las interfaces de salida A10/A11.

BSM (Base Station Management). El subsistema de manejo de la estación base BSM está a cargo de la operación y del monitoreo completo del sistema BSS.

TS (Time Subsystem). Se encarga de sincronizar el tiempo del sistema de la BSC

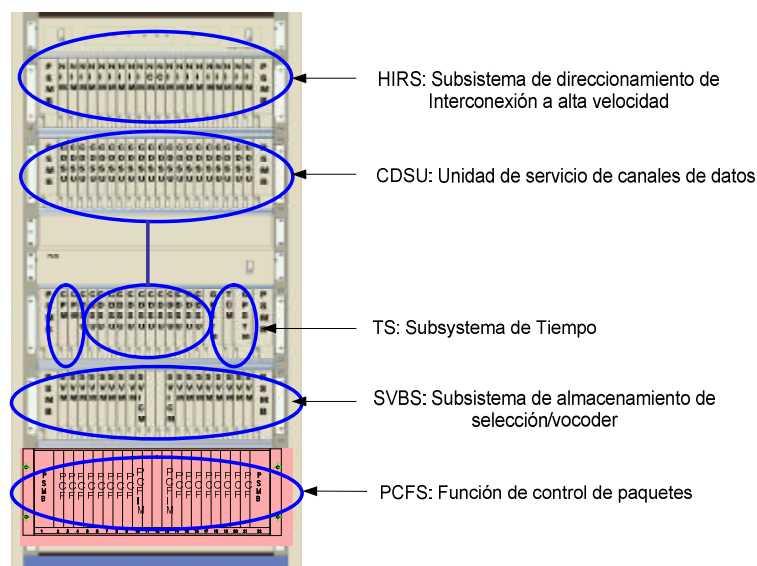


Figura. 3. 17. Estructura de la cabina de la BSC

Además como elementos lógicos contiene:

La función **SDU(Selection/Distribution Unit Funtion)** procesa la voz vía wireless y los protocolos de datos wireles, finalizan la multiplexación y demultiplexación sobre los datos, también procesa el protocolo de acoplamiento de radio RLP(Radio Link protocol)

El **IWFB** es una unidad funcional para la comunicación entre redes, proporciona la función de servicios de datos como es el fax, provee flexibilidad a la hora de configurar el MODEM.



Figura. 3. 18. Controlador de la estación base

Parámetros	Características
Número de Portadoras	1
Potencia de Transmisión	20W
Máximo Tráfico	5040Erl
Velocidad de Transmisión	153.6 Kbps
Rango de Frecuencia	450MHz
Voltaje de funcionamiento	220 AC ó 48 DC
Dimensiones	80cm x 40cm x 25cm

Tabla. 3. 5. Especificaciones del BSC

3.4.5 Red conmutada de paquetes de datos PDSN

Proporciona el acceso a Internet, a Intranets y a redes Wireless provee la interfaz de transmisión de paquetes entre la red de radio y la red de paquetes, este equipo es similar a un router, ya que provee la puerta de acceso (gateway) a la MS, soporta Ip simple e Ip móvil, también actúa como el cliente servidor del servidor AAA. Entre las características principales están:

Reconocimiento de la dirección IP

Localización de los móviles

Autenticación y autorización

Servicio de Internet

Servicios de Red privada wireless

Incluye también el agente local HA, así como el AAA. Proporciona una interfaz entre la red de acceso (RAN) y la red de paquetes de datos (PCF). La PDSN tiene funciones de red similares a las de un router tradicional, la única diferencia es la posibilidad de la movilidad.

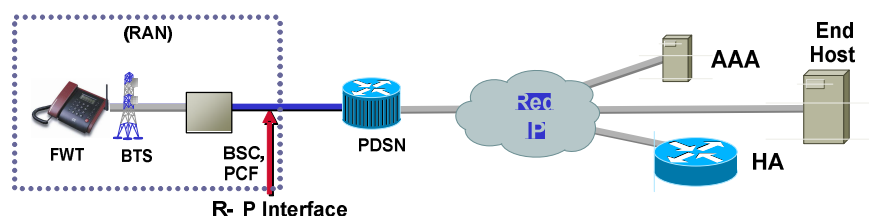


Figura. 3. 19. Topología de la red del PDSN



Figura. 3. 20. PDSS

3.4.6 Autorización, Autenticación y Tarifación AAA

Como se dijo viene incluido en el PDSN, autentica, autoriza y tarifa los servicios de los datos del usuario. Además, el AAA gestiona la suscripción del servicio de los datos para los usuarios.

La siguiente Figura 3.21 muestra arquitectura del AAA

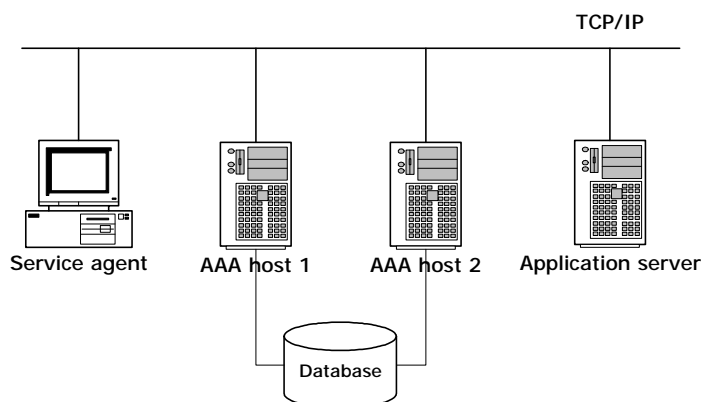


Figura. 3. 21. Estructura del sistema AAA

La arquitectura del AAA esta formado de las siguientes partes

AAA host + base de datos. El Host + la base de datos del AAA se construye en la plataforma del A100. Los requisitos básicos para el hardware y el software son los siguientes:

Requisitos mínimos para la plataforma de hardware: Pentium III o más arriba; memoria de 128 M, espacio de disco de 6 G o más. Es necesario un par de servidores, y de varios dispositivos de la red.

Requerimientos de Software. Se maneja en dos tipos de plataforma: Windows 2000 y UNIX, la base de datos puede ser MY SQL Server y Oracle, contiene un agente de servicio instalado en una PC que provee un proceso de servicio y gestión local de usuario, contiene además un servidor de aplicación proporciona el interfaz externo para el procesos de servicio remoto, localmente autentica, autoriza, y tarifa.

El sistema de software del AAA comprende

Subsistema de Base de Datos. Almacena la información de datos de perfil de cuenta del usuario, además almacena la información de la configuración de sistema del servidor del AAA.

Subsistema agente de monitoreo. Fija, modifica, y suprime el monitoreo del objeto AAA.

Subsistema de tarificación. Proporciona la interfaz en línea correspondiente al comando de contabilidad para la dirección remota del servicio del plan contable del usuario.

Subsistema guardián. Supervisa la ejecución de los diferentes subsistemas. Una vez detectado un problema lo maneja, resetea el subsistema culpable en caso de requerirlo.

3.4.7 H100 HA Agente Local

El HA mantiene el registro de usuarios y redirige los paquetes para que sean autenticados en el PDSN, para la autorización dirige los paquetes hacia el AAA, proporciona un canal de seguridad por donde circulan los paquetes que llegan al PDSN, la arquitectura del equipo H100 se muestra en la Figura 3.22.

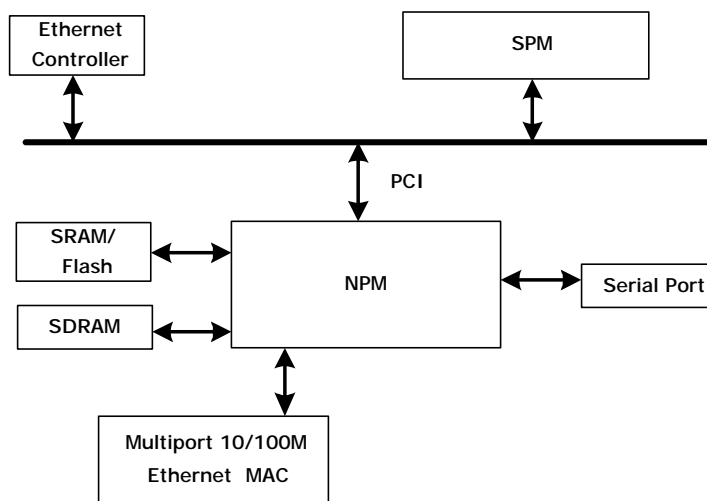


Figura. 3. 22. Arquitectura del equipo HA

La base de la arquitectura del hardware del HA abarca el NPM (módulo del proceso de la red) y el SPM (módulo del proceso de servicio).

El **NPM** procesa secuencias de datos, es responsable de recibir, de encapsular, de encaminar, y de enviar paquetes de datos. El NPM proporciona interfaces básicos como: interfaz de almacenamiento, interfaz de Ethernet, e interfaz serial.

El **SPM** funciona en forma de una sub tarjeta, que provee instrumentos para los diferentes procesos de servicio, direccionamiento de la red, y control de sistema.

Provee la interfaz de adaptación física y cuatro interfaces 10/100 Mbps Ethernet; lo que da una gran velocidad inalámbrica, incluyendo los paquetes de identificación/clasificación, encapsulación, desencapsulación, lista de comprobación, y encaminamiento de los datos.

Dispone de un bus PCI implementado a 32 bits con una velocidad de 66 MHz que está conectado con las sub tarjetas de SPM.

Provee la interfaz de 10/100 Mbps Ethernet para la transferencia directa eliminando posibles errores del programa

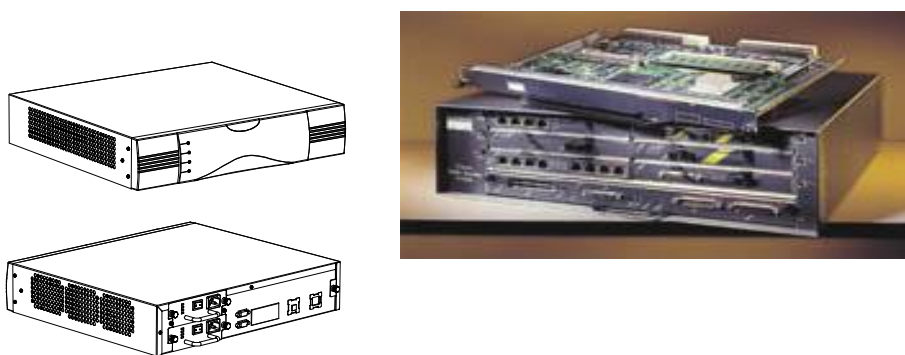


Figura. 3. 23. Equipo PDSS H10

3.4.8 Antenas

Para el Terminal fijo se va a utilizar una antena direccional externa yagui, debido a que se requiere que toda la potencia esté dirigida hacia la radiobase, la ventaja de esta antena es que evita emitir en otras direcciones de transmisión.



Figura. 3. 24. Antena Yagui modelo YA450-15.7-30²⁸

²⁸ www.antennafactory.com

Antena YA450-15.7-30	Descripción
Rango de Frecuencia	400-480
Ancho de Banda	28MHz
Ganancia	15.7dBi
Impedancia Nominal	50Ω
Polarización	Vertical

Tabla. 3. 6. Especificaciones de la antena exterior

La antena para la estación base va a ser de panel sectorizada, como se explicó en el Capítulo II la sectorización trae ventajas como el poder servir a más usuarios ya que el tráfico por canal aumenta.



Figura. 3. 25. BP450-11-1-65 Antena de Panel

Antena BP450-11-1-65	Descripción
Rango de Frecuencia	450-470
Ganancia	11.1 dBi
Lóbulo Horizontal	65°
Lóbulo Vertical	30°
Impedancia de entrada	50Ω
Polarización	Vertical
Máxima potencia de entrada	500W

Tabla. 3. 7. Especificaciones de la antena de la RBS

3.5 COTIZACIÓN DE LOS EQUIPOS

En base a los requerimientos de los equipos que se utilizan para este ejemplo, la empresa fabricante ZTE cotizó los equipos de la siguiente manera.

Parámetro	Modelo	Precio Unitario (USD)
FWT	WP520B	81.00
Batería		87.00
Antena Exterior con 15m de cable	YA450-15.7-30	15.00
Total		183.00

Tabla. 3. 8. Costos Terminal Fijo

Parámetro	Precio Unitario (USD)
BSS Hardware	5,034.00
BSS Software	20,288.00
Total	25,322.00

Tabla. 3. 9. Costos BSS

Equipo BTS	Precio Unitario (USD)
BTS Hardware	21,652.00
BTS Material de Instalación	1,076.00
BTS cable	24.00
BTS Software	16,600.00
Manual BTS	111.00
Total	39,463.00

Tabla. 3. 10. Costos BTS

Antena	Precio Unitario (USD)
Antena Radio Base	1,628.00

Tabla. 3. 11. Costos Antena RBS

Equipo BSC	Precio Unitario (USD)
CDMA2000 BSCB Hardware	77,859.00
CDMA2000 BSCB Material de Instalación	732.00
CDMA2000 BSCB Cable	108.00
CDMA2000 BSCB Software	49,303.00
Manuales Técnicos BSCB	385.00
Total	128,387.00

Tabla. 3. 12. Costos BSC

Equipo HLR	PrecioUnitario(USD)
CDMA2000 HLR	507.00

Tabla. 3. 13. Costos HLR

Equipo PDSN	PrecioUnitario(USD)
CDMA2000 1x(P100) PDSN Hardware	16,646.00
PDSN Software	2,448.00
Manuales Técnicos	55.00
Total	19,149.00

Tabla. 3. 14. Costos PDSN

Equipo AAA	Precio Unitario (USD)
AAA Hardware	13,083.00
AAA Software	5,402.00
Total	18,485.00

Tabla. 3. 15. Costos del sistema AAA

Descripción	Precio total (USD)
Accesorios, módulos de equipamiento, material de instalación	7,677.00

Tabla. 3. 16. Accesorios complementarios

S/N	Equipo	Precio Total (USD)
1	Terminal Fijo	183.00
1	BSS	25,322.00
2	BTS	39,463.00
3	BSC	128,387.00
4	PDSN	19,149.00
5	HLR	507.00
6	AAA	18,485.00
7	Antena Direccional	15.00
8	Antena de Panel	1,628.00
9	Accesorios	7,677.00
Total²⁹		240,816.00

Tabla. 3. 17. Cotización total para la implementación de un enlace con tecnología CDMA450

²⁹ Este valor no incluye el impuesto IVA

Este valor debe ser estudiado por FODETEL, para determinar cual es el mejor método para cubrirlo, ya sea por subsidio total, parcial, oferta del proyecto, etc, este tema fue analizado ya en el Capítulo I.

CAPITULO IV

ANÁLISIS DEL ESPECTRO RADIOELÉCTRICO EN LA BANDA 450MHz

4.1 INTRODUCCIÓN

La introducción de nuevas tecnologías en áreas rurales se viene analizando desde 1981 cuando la Asamblea General de las Naciones Unidas destacó la “importancia fundamental de infraestructuras de comunicaciones como elemento esencial en el desarrollo social de todos los países”³⁰ a partir de dicha asamblea se conformó una comisión independiente para que analice la forma de estimular la expansión de las telecomunicaciones en todo el mundo.

En 1998 la Conferencia Mundial de Desarrollo de las Telecomunicaciones, asumió el desafío de identificar las nuevas tecnologías exclusivamente orientadas hacia áreas rurales y remotas, en 1999 se creó un grupo temático de la UIT-D, cuyo principal objetivo era que en la primera década del nuevo siglo se lleve el servicios de Internet a todo el mundo aplicando las nuevas tecnologías para reducir la brecha digital.

Los resultados que arrojó el grupo temático fueron las nuevas tecnologías para zonas rurales, entre las que se encuentra la introducción comercial de las radio bases celulares cdma450, implementadas en las bandas de 450MHz, la cual se desplegó en el 2001; basando su aplicabilidad desde el punto de vista que las frecuencias más bajas permitirán cubrir zonas dos veces mayores comparando con las coberturas de las BS que actualmente existentes en las bandas de 800-900 y 1900 MHz.

En este capítulo se va a analizar la banda de 450MHz, desde varios puntos de vista, en primer lugar se va a resumir en que estado se encuentra la estandarización de la banda de 450MHz, la canalización de dicha banda, las ventajas de situar esta tecnología en bandas bajas, la atribución del espectro eléctrico en el Ecuador, la ocupación de la banda en zonas rurales.

³⁰ Objetivo planteado en la Asamblea General de las Naciones Unidas

Se hará un análisis para determinar las zonas en las que se podría brindar esta tecnología basándose en índices socioeconómicos como el Valor Agregado Bruto VAB. Para finalizar con la aplicación de un modelo de propagación en una zona específica del Ecuador

4.1.2 Estandarización de la banda 450MHz

Como pionera de la tecnología CDMA, incluyendo CDMA450, QUALCOMM está brindando a las administraciones y miembros asociados a la CITELE la información acerca de las soluciones que la compañía ofrece actualmente en la banda de 450MHz, así como las ventajas que brindan los conjuntos de chips y software de QUALCOM los que además son los que prestan soporte a todos los proveedores y operadores que optan por la tecnología.

En la V reunión del Comité Consultivo Permanente II (CCPII) de radiocomunicaciones incluyendo radiodifusión, que se realizó en Abril del 2005, se redactó un documento cuyo título es “Uso de las bandas de 410 a 430MHz y 450 a 470MHz para servicios fijos y móviles para comunicaciones digitales, particularmente en áreas de densidad poblacional baja.”³¹ Dicho documento contiene algunas recomendaciones que se basan principalmente en las ventajas que puede ofrecer la gama de 400MHz, para las tecnologías inalámbricas con el objeto de realizar mejoras en las comunicaciones, considerando que los costos son relativamente bajos e independientes de la distancia y la cantidad de usuarios, reconociendo además que si bien las bandas de 410 a 430MHz y 450 a 470MHz se encuentran congestionadas en zonas urbanas como es el caso de Ecuador, hay otras áreas con necesidad de cobertura de comunicaciones en donde el uso de estas bandas se encuentra libre sobretodo en áreas rurales y remotas, donde existiría una buena oportunidad de obtener beneficios de la convergencia tecnológica, por lo que algunas Administraciones podrían considerar estas bandas para aplicaciones móviles.

En base a los antecedentes anteriormente mencionados, se emitieron recomendaciones para que en los países latinoamericanos se considere el uso de las bandas de 450MHz, teniendo en cuenta el marco regulatorio de cada país se refieren a los sitios en los que se podría desplegar la tecnología; dichas recomendaciones se enumeran a continuación³²:

³¹ Proyecto presentando en el CCPII

³² Recomendaciones extraídas del documento “Uso de las banda de 410 a 430MHz y de 450 a 470MHz en zonas de baja densidad poblacional”

1. “En donde el espectro necesario esté disponible o en donde pueda disponerse del mismo a través de medios técnicos y/o regulatorios.
2. En donde puedan coexistir los sistemas nuevos y los existentes sin interferencia perjudicial.
3. En donde el crecimiento o desarrollo de los sistemas existentes no está limitado.
4. En donde, en el caso de las áreas de frontera, se puedan lograr acuerdos de coordinación entre administraciones.”³³

Como se aprecia, se están realizando grandes adelantos en la estandarización de estas bandas, dando potestad a la Administración de cada país para que tome la decisión de considerarla para el servicio móvil, tomando en cuenta que si la banda de 450MHz está disponible en las áreas rurales, lo cual puede ser un gran facilitador para brindar comunicaciones a estas áreas.

En el Ecuador es obligación del Estado a través de las instituciones especializadas en telecomunicaciones, en este caso la SENATEL, vigilar los avances tecnológicos y efectuar las acciones necesarias dentro del marco legal vigente, para asegurar el ingreso de nuevas tecnologías y servicios, contribuyendo a que las grandes masas de la población tengan acceso a los mismos, a bajos costos.

Uno de los principales objetivos de la Ley Especial de Telecomunicaciones Reformada es establecer un marco legal para desarrollar actividades de telecomunicaciones y aprovechar el espectro radioeléctrico con el fin de promover el desarrollo, estimular la inversión y proveer acceso a las telecomunicaciones a todos los habitantes del país.

4.2 OCUPACIÓN DE LA BANDA 450MHZ EN EL DEL ECUADOR

De acuerdo al Plan Nacional de Frecuencias (PNF) la banda de 450 a 470MHz, está atribuida a los servicios FIJO y MÓVIL, esta banda es muy utilizada en áreas urbanas sobretodo en las provincias de Pichincha y Guayas, llegando al 75% de ocupación para comunicaciones de voz por radio de dos vías Figura 4.1.

³³ Proyecto de recomendación CCP.II/REC. XXX(V-05)

Estadísticamente, las áreas donde se explotan los servicios en las bandas de 450MHz se distribuyen de la siguiente manera:

Zona Urbana: Pichincha (Quito) y Guayas (Guayaquil) / Densidad alta	75%
Zona Urbana (Resto de capitales de provincias) / Densidad media	20%
Zona Rural / Densidad baja	5%
	100%

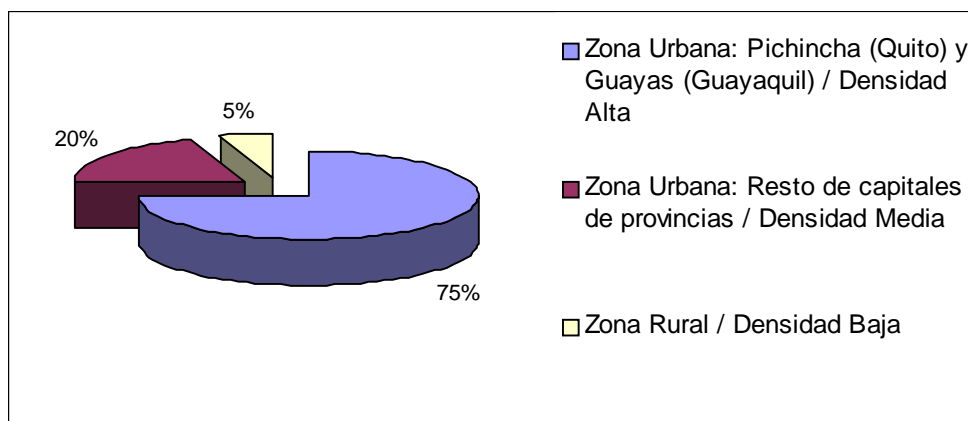
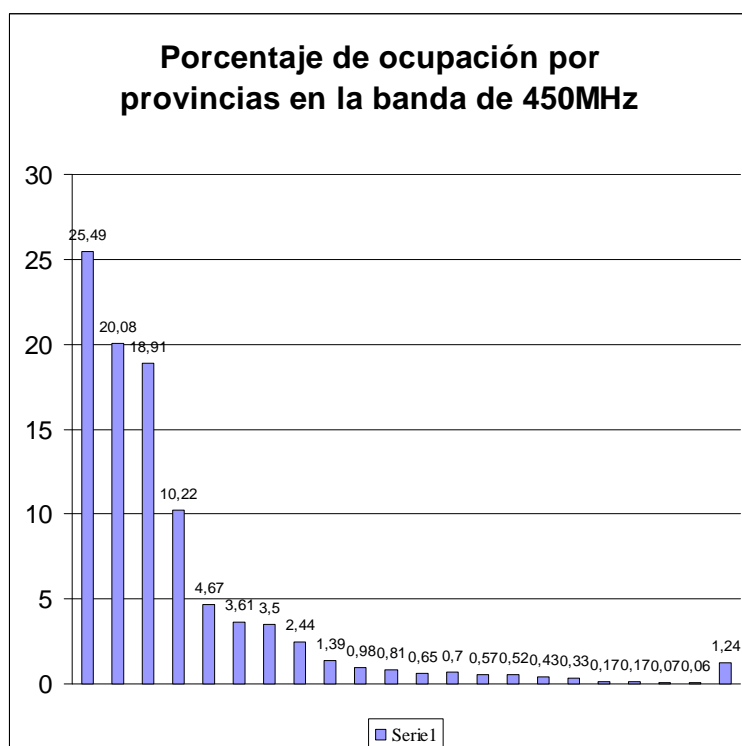


Figura. 4. 1. Distribución de las bandas de 450MHz por zonas.



Nº	Provincia	Circuitos(%)
1	Guayas	25,49
2	Pichincha	20,08
3	Los Ríos	18,91
4	El Oro	10,22
5	Manabí	4,67
6	Cotopaxi	3,61
7	Esmeraldas	3,5
8	Azuay	2,44
9	Imbabura	1,39
10	Tungurahua	0,98
11	Cañar	0,81
12	Sucumbios	0,65
13	Chimborazo	0,7
14	Carchi	0,57
15	Napo	0,52
16	Orellana	0,43
17	Loja	0,33
18	Morona Santiago	0,17
19	Galápagos	0,17
20	Bolívar	0,07
21	Pastaza	0,06
22	A nivel nacional	1,24

Figura. 4. 2 Distribución de usuarios por provincias

Para tener una visión más clara de las áreas de explotación de la banda se puede observar la ocupación por provincias en la figura 4.2, basándose en el porcentaje del número de usuarios por provincia.

Se puede ver que el uso de esta banda a excepción de Guayas, Pichincha, Los Ríos y El Oro, es muy escaso; además, el uso que se les da es principalmente para radios de dos vías.

4.2.1 Plan Nacional de Frecuencias

De acuerdo con el PNF los servicios atribuidos a estas bandas son:

450 – 455 MHz

A título Primario

FIJO

MÓVIL

A título secundario

No existe ningún servicio

Notas EQA³⁴ relacionadas

EQA.55: se exceptúa la operación de enlaces radioeléctricos entre estaciones fijas con antenas direccionales punto-punto, punto-multipunto.

455 – 456 MHz

A título Primario

FIJO

MÓVIL

MÓVIL POR SATÉLITE (Tierra-espacio)

A título secundario

No existe ningún servicio

Notas EQA relacionadas

EQA.110: se exceptúa la operación de enlaces radioeléctricos entre estaciones fijas con antenas direccionales punto-punto, punto-multipunto.

456 – 459 MHz

³⁴ Nota nacional que indica el uso específico de ciertas bandas de frecuencia aplicables en el país exclusivamente.

A título Primario

FIJO

MÓVIL

A título secundario

No existe ningún servicio

Notas EQA relacionadas

EQA.55: se exceptúa la operación de enlaces radioeléctricos entre estaciones fijas con antenas direccionales punto-punto, punto-multipunto.

459 – 460 MHz

A título Primario

FIJO

MÓVIL

MÓVIL POR SATÉLITE (Tierra-espacio)

A título secundario

No existe ningún servicio

Notas EQA relacionadas

EQA.110: se exceptúa la operación de enlaces radioeléctricos entre estaciones fijas con antenas direccionales punto-punto, punto-multipunto.

460 – 470 MHz

A título Primario

FIJO

MÓVIL

A título secundario

Meteorología por satélite (espacio-Tierra)

Notas EQA relacionadas

EQA.55: se exceptúa la operación de enlaces radioeléctricos entre estaciones fijas con antenas direccionales punto-punto, punto-multipunto.

Refiriéndose al PNF, no hay ningún inconveniente en cuanto a las notas internacionales y las notas EQA, que limiten el uso de esta tecnología en la banda de 450MHz, el único limitante serían las zonas en las que podría implementarse, no obstante las zonas rurales están casi totalmente despejadas, como se verá estadísticamente más adelante.

4.2.2 Ventajas de la banda de 450MHz

En varios países alrededor del mundo se ha comprobado su eficiencia, ya son 27 los países que operan comercialmente o han comenzado con pruebas en CDMA 450, además 43 operadoras prestan servicios o realizan pruebas en esta frecuencia.

La operación en la banda de 450MHz, en lugar de las bandas de 800, 900y 1900MHz, permite que cada estación base cubra una zona mucho más amplia, Figura 4.3.

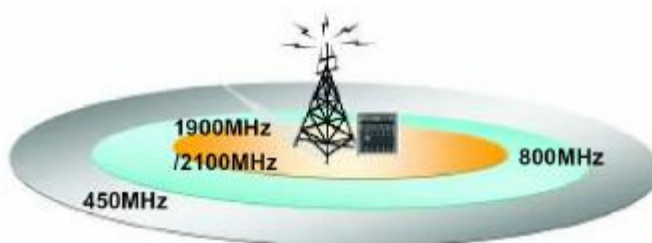


Figura. 4. 3. Cobertura de CDMA450 con respecto a las otras bandas

La cobertura de una zona amplia se adapta mejor a la baja densidad de poblaciones rurales, dispersas en una zona extensa, por el número reducido de radiobases que se requiere, tiene varias ventajas como el menor uso de infraestructura, bajos costos en su implementación, facilita la implementación de las interfaces aéreas inalámbricas, ofrece mayor capacidad, mayor cobertura, claridad vocal, calidad de llamada, privacidad y seguridad, consumo bajo de potencia, servicios mejorados, servicios de datos, acceso inalámbrico fijo. Es por estas mejoras que se garantiza que en las zonas rurales se puede dar un buen servicio de apoyo, en casos de atención médica o seguridad pública, con el acceso a Internet serán posibles los servicios educativos, pequeñas empresas y sobretodo el acceso al mundo digital.

Cdma450 abarca la misma zona que un sistema cdma800MHz utilizando aproximadamente la mitad del número de localizaciones de células. En ciertas zonas en las que es necesaria una cobertura muy amplia, con características de un terreno plano, y

parámetros de temporización detalladamente ajustados, se puede alcanzar hasta un diámetro de 160Km.

En cuanto a la calidad de voz, el vocoder ha sido mejorado, con un codec de velocidad variable lo que permite obtener un retardo inferior a 60ms.

La calidad de servicio depende en gran manera del equipo y del diseño de la estructura de la red de radiocomunicaciones, pero generalmente con la tecnología cdma450 se logran los objetivos de calidad de servicio que suelen determinar los operadores.

La seguridad de la tecnología cdma450 tiene características muy importantes. Permite aplicar soluciones en cuanto a la validación y autenticación de abonados, así como la encriptación de mensajes de señalización para la privacidad de la voz. Permite además aplicar medidas de detección para la prevención de fraudes.

El plan de bandas de frecuencia cdma450 es compatible con las atribuciones existentes para Nordic Mobile Telephone NMT450 (tecnología de primera generación, cdma450 es una de las pocas tecnologías que se ajusta dentro de 4-5 MHz de espectro (requiere 2x1,25MHz para un solo canal, puede alojar de 3 a 4 portadoras dependiendo del tamaño de las bandas de guarda) esta atribución da soporte a tres portadoras de 1,25MHz para cdma450 (con las bandas de guarda apropiadas), por lo que no se necesita una nueva canalización, ni frecuencias adicionales, ahorrando así tiempo y dinero en efectuar una nueva atribución de frecuencias.

4.2.3 Canalización de la Banda

Por tanto las bandas atribuidas a NMT450, son las mismas atribuidas a CDMA450, dichas bandas se encuentran en la Tabla 4.1.

Designador de sistema	Subclase de banda	Bandas de frecuencia de transmisión (MHz)	
		Estación móvil	Estación base
A	0	452.500 - 457.475	462.500 - 467.475
B	1	452.000 – 456.475	462.000 - 466.475
C	2	450.000 – 454.800	460.000 - 464.800
D	3	411.675 – 415.850	421.675 - 425.850
E	4	415.500 – 419.975	425.500 - 429.975

Designador de sistema	Subclase de banda	Bandas de frecuencia de transmisión (MHz)	
		Estación móvil	Estación base
F	5	479.000 – 483.480	489.000 - 493.480
G	6	455.230 – 459.990	465.230 - 469.990
H	7	451.310 – 455.730	461.310 - 465.730

Tabla. 4. 1. Canalización de bandas para 450MHz

Como se puede ver, las bandas A, B, C, G y H se sobrelapan entre ellas, la banda A es la más comúnmente usada.

Las bandas F, D y E tienen mucho potencial cuando la interferencia es mínima

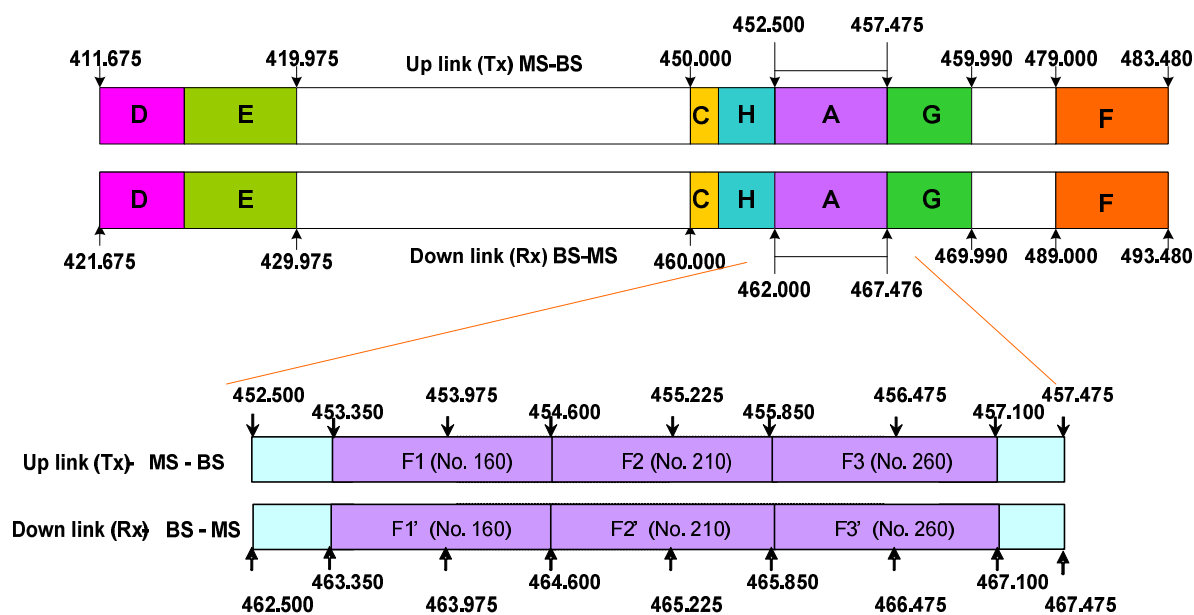


Figura. 4. 4 Canalización de bandas para 450MHz

Los equipos escogidos trabajan en las sub-bandas Tx: 463 ~ 467.5MHz y Rx: 453 ~ 457.5MHz, las cuales se ajustan en las bandas A y B, pero al sobrelaparse y al ser mas común el uso de la banda A, esta es la escogida. Remitiéndose al Plan Nacional de Frecuencias no hay ningún impedimento al querer implementar esta tecnología en dicha bandas.

4.3 SITUACIÓN DE LOS SERVICIOS DE LAS TELECOMUNICACIONES EN ECUADOR

Ecuador tiene una extensión de 270.670 Km² con una población total³⁵ de 13'026.890 habitantes 6'535.559 de mujeres y 6'491.331 de hombres. Se divide en cuatro regiones; Costa, Sierra, Oriente y Región Insular.

La densidad de telefonía fija a nivel nacional se ha incrementado al pasar de los años, pero a un paso lento. La penetración telefónica en el Ecuador es del 12,79%³⁶ a Noviembre de 2005 como se muestra en la Figura 4.5, se concentra en las grandes ciudades como Quito y Guayaquil ver Figura 4.6, en la mayoría de zonas rurales no existe ningún tipo de servicio de telecomunicaciones, y si lo hay la penetración telefónica es escasa.

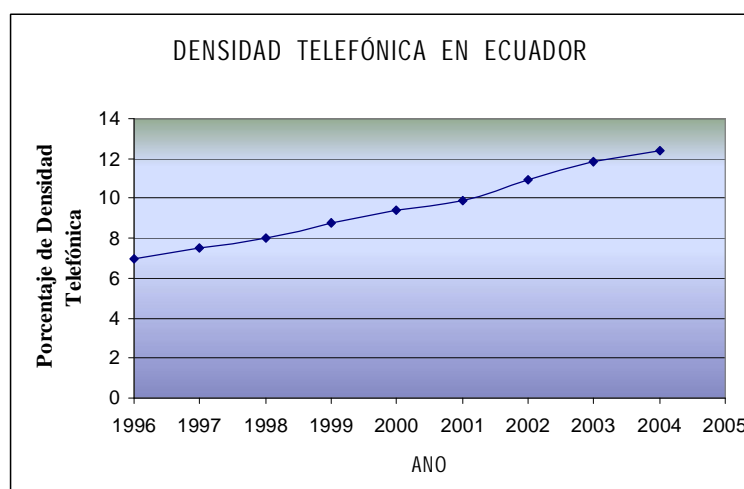


Figura. 4. 5. Densidad Telefónica Fija en Ecuador

En 1996 el número de líneas instaladas era de 800.763 pasó a 1'612.261 a noviembre de 2005 de los cuales 11.206 son teléfonos públicos, logrando una densidad de 12,79 líneas fijas por cada 100 habitantes.

En los países latinoamericanos, el capital generalmente se acumula en las ciudades principales, en Ecuador los recursos de todas las ramas de actividad así como el poder político se concentra en dos ciudades específicas Quito y Guayaquil, las telecomunicaciones no se escapan de esta bipolaridad, como se ve en la Figura 4.6.

³⁵ Estimaciones y Proyecciones de Población 2005; INEC-CEPAL-Serie 01 No. 205; Octubre 2003

³⁶ Datos recopilados de la Superintendencia de Telecomunicaciones a Noviembre de 2005

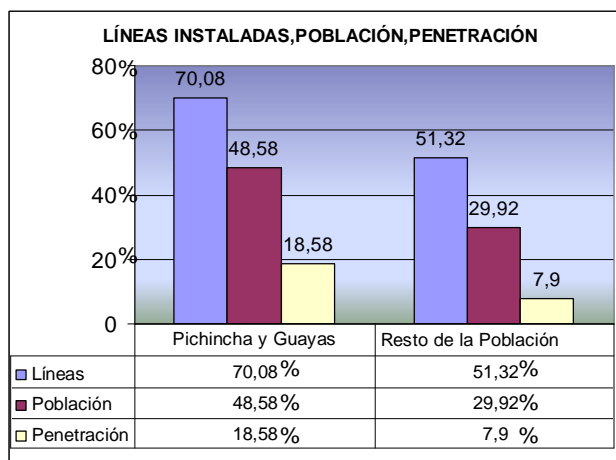


Figura. 4. 6. Distribución de Población, Líneas Telefónicas Instaladas y Densidad Telefónica Fija en Ecuador³⁷.

En la Tabla 4.2 se muestra un par de indicadores que reflejan la concentración de recursos en estas dos provincias en relación con el resto del país.

Indicador	Guayas[%]	Pichincha[%]	Total [%]
PIB	26,9	23	49,9
Población	27,1	19,5	46,6

Tabla. 4. 2. Concentración porcentual de algunos indicadores respecto al total nacional³⁸

4.3.1 Operadoras de Telefonía Fija

Actualmente en Ecuador los operadoras que brindan el servicio de telefonía fija son: Andinatel, Pacifictel, Etapa, Linkotel, SETEL y Ecuador Telecom³⁹, a continuación se muestra porcentualmente la cobertura de cada una de ellas.

Andinatel. Da servicio a las provincias de Cotopaxi, Esmeraldas, Imbabura, Napo, Orellana, Pastaza, Pichincha, Sucumbíos y Tungurahua. El número de líneas principales hasta noviembre de 2005, es de 897.651 líneas.⁴⁰

PROVINCIA	LÍNEAS PRINCIPALES				LÍNEAS EN CENTRALES	CENTRALES	POBLACIÓN	DENSIDAD TELEFÓNICA POR OPERADORA(%)
	ABONADOS	SERVICIO	TELÉFONOS PÚBLICOS	TOTAL				
BOLIVAR	10.594	136	142	10.872	14.576	3	174.855	6,22%
CARCHI	16.483	114	196	16.793	20.264	2	157.266	10,68%
CHIMBORAZO	37.410	262	336	38.008	47.683	5	420.021	9,05%
COTOPAXI	28.495	189	369	29.053	38.581	7	379.839	7,65%
ESMERALDAS	29.742	114	438	30.294	37.315	8	412.094	7,35%

³⁷ Tomado de Superintendencia de Telecomunicaciones

³⁸ Tomado de Cuadernos sobre descentralización (Bicentralismo)

³⁹ Preguntar Byriton lo de Setel

⁴⁰ Fuente: www.supertel.gov.ec

IMBABURA	44.423	213	534	45.170	51.898	8	378.280	11,94%
MORONA SANTIAGO **	868	10	4	882	1.136	0	6.626	13,31%
NAPO	5.228	90	92	5.410	6.688	1	89.072	6,07%
ORELLANA	3.470	29	74	3.573	5.584	2	91.079	3,92%
PASTAZA	7.227	39	147	7.413	9.840	1	71.167	10,42%
PICHINCHA	637.983	2.624	5.526	646.133	769.614	42	2.667.813	24,22%
SUCUMBIOS	7.363	42	207	7.612	8.896	3	155.010	4,91%
TUNGURAHUA	55.599	307	532	56.438	73.197	3	473.656	11,92%
TOTAL	884.885	4.169	8.597	897.651	1.085.272	85	5.476.778	16,39%

Tabla. 4. 3. Densidad telefónica correspondiente a Andinatel

Como se puede observar en la Figura 4.7, la mayor concentración de líneas telefónicas se presenta en Pichincha con 740.618 líneas centrales correspondientes al 24,71% de densidad telefónica.

DENSIDAD TELEFÓNICA ANDINATEL S.A

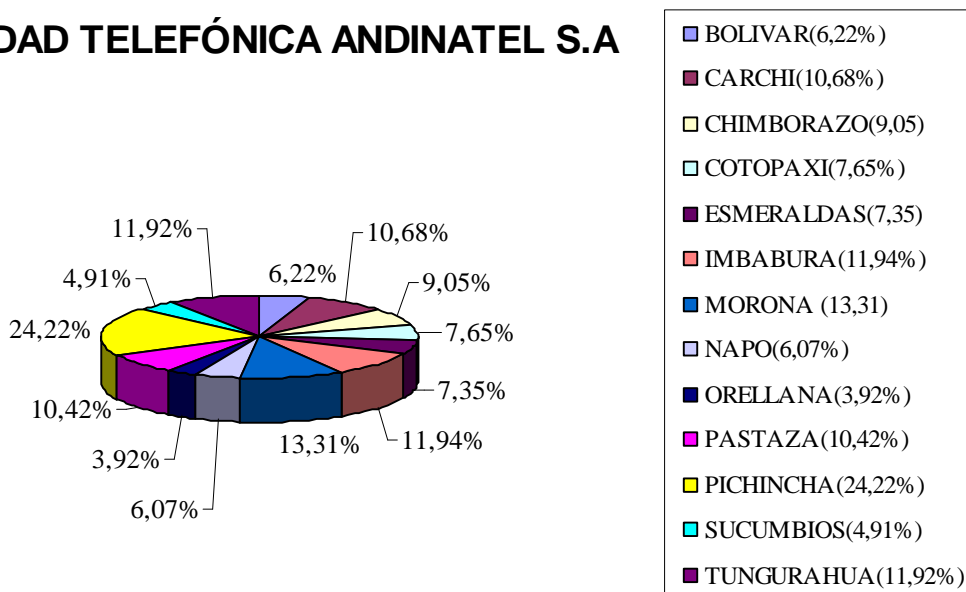


Figura. 4. 7. Densidad Telefónica Fija de las provincias a las que provee servicio Andinatel

A noviembre de 2005 ANDINATEL dispone de 8597 teléfonos públicos en las diferentes provincias. La densidad telefónica (tasa de penetración) para ANDINATEL es de 16,39%.

Pacifictel. Da servicio a las provincias de: Azuay, Cañar, El Oro, Galápagos, Guayas, Loja, Los Ríos, Manabí, Morona Santiago y Zamora Chinchipe. El número de líneas principales instaladas por la operadora PACIFICTEL S.A. hasta el mes de diciembre de 2004 es de 647.822 líneas.

PROVINCIA	Líneas principales				Líneas en Centrales	Centrales	Población	Densidad Telefónica por Operadora(%)
	Abonados	Servicio	Teléfonos Públicos	Total				
AZUAY**	16.673	132	43	16.848	18.818	6	182.503	9,23%
CAÑAR	17.523	134	84	17.741	18.906	7	213.684	8,30%
EL ORO	45.375	274	395	46.044	52.500	7	573.579	8,03%
GALÁPAGOS	3.429	56	11	3.496	4.020	1	23.444	14,91%
GUAYAS	453.163	2.583	1.989	457.735	546.358	43	3.652.555	12,53%
LOJA	36.937	124	431	37.492	43.213	3	412.993	9,08%
LOS RÍOS	30.818	234	210	31.262	39.558	11	701.018	4,46%
MANABÍ	63.818	497	379	64.694	85.922	7	1.248.911	5,18%
MORONA SANTIAGO	7.494	35	76	7.605	7.898	5	122.768	6,19%
ZAMORA CHINCHIPE	4.248	24	64	4.336	5.092	3	80.663	5,38%
TOTAL	640.617	4.130	3.075	647.822	816.258	104	7.079.258	9,15%

Tabla. 4. 4. Densidad telefónica correspondiente a Pacifictel

La mayor concentración de líneas telefónicas se presenta en la provincia del Guayas con 457.735 líneas centrales, que equivale a una densidad telefónica del 14,91%.

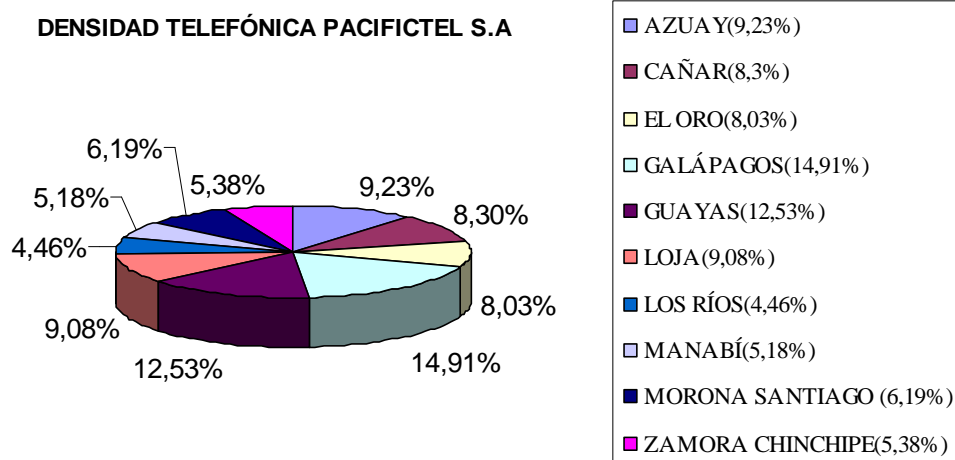


Figura. 4. 8. Penetración telefónica por provincia Pacifictel

A noviembre de 2005 PACIFICTEL ha instalado 3.075 teléfonos públicos en las diferentes provincias. La densidad telefónica (tasa de penetración) para PACIFICTEL S.A es de 9,15%; es decir 9,15 líneas por cada 100 habitantes.

Etapa. Presta servicio solamente al Cantón Cuenca. Las líneas principales de la operadora ETAPA hasta noviembre de 2005 son de 100.865 líneas.

CANTON CUENCA	Líneas principales				Líneas en Centrales	Centrales	Población *	Densidad Telefónica (%)
	Abonados	Servicio	Teléfonos Públicos	Total				
	103.647	546	556	109.152	109.152	3	453.834	23,08%

Tabla. 4. 5. Densidad Telefónica correspondiente a Etapa

A noviembre de 2005 ETAPA dispone de 2 centrales. En la ciudad se encuentran instalados 556 teléfonos públicos. La densidad telefónica (tasa de penetración) para el Cantón Cuenca es de 23,08% a noviembre de 2005.

Linkotel. Presta servicio a las ciudadelas Kennedy Norte, Vía al Sol y Matices, a noviembre de 2005 tienen 1064 abonados.

LOCALIDAD GUAYAS	Líneas principales				Líneas en Centrales	Centrales	Población	Densidad Telefónica (%)
	Abonados	Servicio	Teléfonos Públicos	Total				
	1064	0	0	335				

Tabla. 4. 6. Densidad telefónica Linkotel a noviembre de 2005

Por su parte SETEL y ECUADOR TELECOM tienen la concesión para operar telefonía inalámbrica fija mediante el uso de la tecnología WLL, pero en la actualidad aún no incursionan con esta tecnología en el mercado.

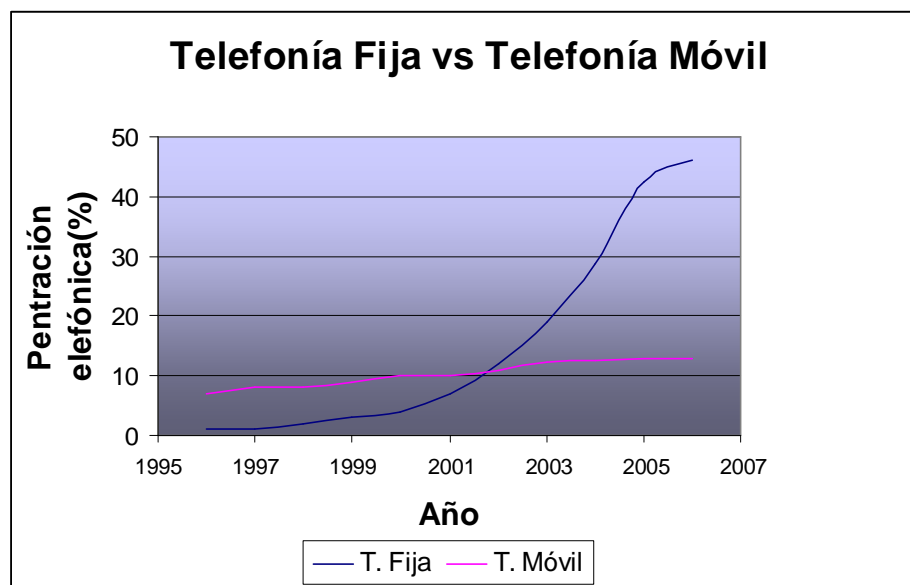
4.3.2 Operadoras de Telefonía Móvil

Actualmente en el Ecuador hay 3 operadoras que prestan el servicio móvil celular, Otecel(Movistar), Conecel (Porta), Telecsa (Alegro PCS), hasta noviembre de 2005 el total de usuarios a nivel nacional es de 3'143.106 lo que equivale a una densidad telefónica de 46,21%; es decir 46,21 líneas por cada 100 habitantes.

FECHA		OTECCEL (Movistar)			CONECEL (Porta)		Total nacional	Densidad Telefónica
		TDMA	CDMA	GSM	TDMA	GSM		
Diciembre	Usuarios postpago	26.710	327.860	11.516	7.552	381.817	6.019.980	46,21%
	Prepago	195.001	982.684	387.859	621.436	3.077.545		
Total de Usuarios		1.931.630			4.088.350			
Terminales telefonía pública		6.386 (noviembre de 2005)	-		11.664 (diciembre de 2005)			

Tabla. 4. 7. Densidad telefónica de las operadoras móviles

Como se puede ver la densidad de telefonía móvil sobrepasa en gran magnitud a la densidad telefonía fija Figura 4.9, lo que cubre en gran parte la necesidad de comunicarse, al igual que la telefonía fija, la telefonía móvil se concentra en las dos provincias principales Pichincha y Guayas.



Fecha	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
Penetración Móvil (%)	1	1	2	3	4	7	12	19	28,9	42,51	46,21
Penetración Fija (%)	7	8	8	9	10	10	11	12,24	12,51	12,79	12,85

Figura. 4. 9. Densidad de Telefonía Fija vs Telefonía Móvil

Esta tendencia es común en varios países del mundo, pues la telefonía móvil supera en un gran porcentaje a la telefonía fija, ya que brinda grandes ventajas como movilidad, cobertura, roaming, etc. Este hecho contribuye a la teoría de interconexión que se planteó en el Capítulo I, es decir que la gente de las zonas urbanas estarían dispuestas a pagar más por las llamadas entrantes a las zonas rurales.

Cabe señalar que una de las fuentes del desarrollo del Servicio Universal son las redes de telefonía móvil.

En Ecuador se especifica en el contrato de concesión correspondiente, que las Operadoras de Telefonía Celular tienen la obligación de instalar terminales de telefonía pública, en un número de 0.5% de abonados del año "n-1"., CONECEL (Porta) ha instalado un total de 11.664 cabinas a diciembre de 2005 , OTECEL (Telefónica) un total de 6.386 cabinas al mes de noviembre de 2005. Lo que contribuye a dar mayor acceso al servicio de telecomunicaciones a gran parte de los habitantes del Ecuador.

A pesar de que el uso de la telefonía móvil en Ecuador se ha incrementado notablemente, aun en la zona rural no existe una buena penetración, por lo que se hace necesaria la inclusión de nuevas tecnologías de Servicio Universal que abarquen estos lugares.

4.3.3 Acceso a Internet

De acuerdo a los datos recogidos por la Superintendencia de Telecomunicaciones el número de cuentas individuales, cuentas corporativas de internet (dial-up) registradas y reportadas por las operadoras autorizadas de valor agregado es de 119.281 a noviembre de 2005, lo que representa un porcentaje de 1,56% por cada 100 habitantes.

Tipo de cuenta	Cuentas	(%) Usuarios de Internet c/100h
Cuentas personales (i)	107.391	1.56%
Cuentas corporativas	11.890	0,17%

Tabla. 4. 8. Servicio de Acceso a Internet en Ecuador

Como se puede ver, el porcentaje de usuarios de Internet considerando las cuentas personales y corporativas es muy bajo a nivel nacional, lo que indica que no se ha dado la importancia ni la promoción debida a este tema, además la brecha digital en un servicio considerado básico como el Internet se ha tornado demasiado grande, por lo que el Estado ecuatoriano se debe comprometer en el estudio y despliegue de nuevas tecnologías que provean acceso a las Telecomunicaciones, no como un privilegio sino como un derecho.

4.4 SITUACIÓN DE LAS TELECOMUNICACIONES EN LAS ZONAS RURALES DEL ECUADOR

Antes de analizar la situación de las telecomunicaciones en las zonas rurales, se va a definir lo que es una zona rural.

El FODETEL ha optado por acoger la definición que ha dado el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos INEC, extendiéndolo a las cabeceras cantonales que posean 5.000 habitantes o menos. A esta definición se le ha agregado las poblaciones con 17.000

habitantes (concentrados) o menos y que tengan un penetración telefónica menor que $(1.000/17.000)*100\%$ ⁴¹; es decir el 5,88%.

Actualmente en Ecuador existen 1.155 parroquias rurales, con 38.578 localidades (recintos, asentamientos, anejos, caseríos, poblaciones pequeñas) que no tienen por lo menos 1 teléfono público. A nivel nacional existen 940 parroquias con una población total de 4'811.729 habitantes como se muestra en la Tabla 4.9, para obtener el porcentaje de la zona rural y urbano marginal con respecto a la población nacional, se tomará como referencia la población total de 13'026.890.

TELEFONÍA PÚBLICA								
PROVINCIA	PARR	TOTAL POB. PARRQ	LINEAS PRINC.	MONED	LOCUTOR.	CABIN	DENSIDAD TELEF C/100 HAB.	ABON
AZUAY	72	319.922	20.100	92	52	-	6,28	19.920
BOLIVAR	25	121.686	4.598	5	-	3	3,78	4.551
CAÑAR	31	138.565	4.765	54	38	-	3,44	4.673
CARCHI	31	98.500	5.788	19	-	19	5,88	5.681
COTOPAXI	38	243.547	8.926	6	12	13	3,67	8.787
CHIMBORAZO	53	268.136	7.179	8	-	16	2,68	7.070
EL ORO	57	153.420	6.062	32	84	-	3,95	5.946
ESMERALDAS	61	243.816	6.042	5	20	32	2,48	5.932
GUAYAS	50	586.745	10.337	69	69	-	1,76	10.199
IMBABURA	39	165.420	6.871	18	7	13	4,15	6.783
LOJA	88	243.252	5.767	28	26	-	2,37	5.713
LOS RÍOS	22	316.476	4.774	56	34	-	1,51	4.678
MANABÍ	69	607.975	10.489	115	85	-	1,73	10.235
MORONA SANTIAGO	58	113.300	7.097	36	65	-	6,26	6.988
NAPO	22	79.610	4.621	26	4	-	5,80	4.526
PASTAZA	19	35.511	1.039	14	8	3	2,93	999
PICHINCHA	59	481.484	48.155	33	156	50	10,00	47.736
TUNGURAHUA	52	277.178	16.701	45	41	18	6,03	16.513
ZAMORA CHINCHIPE	30	76.414	3.344	10	17	-	4,38	3.317
GALÁPAGOS	8	18.555	3.074	30	22	-	16,57	3.022
SUCUMBÍOS	32	89.743	1.275	1	12	-	1,42	1.250
ORELLANA	19	60.304	913	-	6	-	1,51	893
ZONAS NO DELIMITADAS	5	72.170	2.223	-	10	4	3,08	2.199
TOTAL NACIONAL	940	4.811.729	190.140	702	768	171	3,95	187.611

Tabla. 4. 9. Densidad telefónica a nivel parroquial en el Ecuador

⁴¹ Plan de Servicio Universal del FODETEL

Como se puede ver el promedio de la densidad telefónica en las zonas rurales y urbano marginales es de 3,95%, este valor es muy bajo y confirma el poco acceso que tiene este sector a las telecomunicaciones, las estadísticas muestran que en el Ecuador existe un gran porcentaje de áreas rurales como se puede ver en la Figura 4.10, es decir que la brecha digital realmente es grande, por lo que se debe tomar medidas de acción.

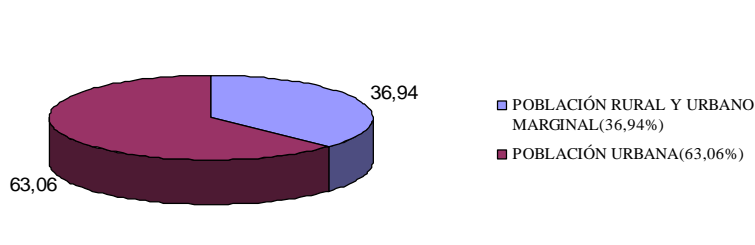


Figura. 4. 10. Población rural y urbano marginal respecto a la población urbana

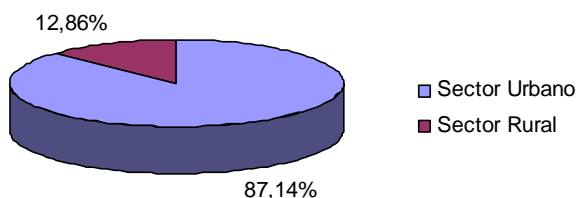


Figura. 4. 11. Distribución total de líneas instaladas⁴²

4.4.1 Criterios para la selección de las zonas rurales

Para la selección de las Zonas en las que se podría implementar la tecnología CDMA450, la premisa de la que se parte, es tomar parroquias con un índice de penetración telefónica menor al 5% ver Tabla 4.9, tomando en cuenta además el porcentaje de parroquias sin servicio por provincia.

Provincia	Total parroquias	No. Parroquias sin servicio	No. Parroquias con servicio	% de Parroquias sin servicio
AZUAY	72	51	21	70,83
BOLIVAR	25	17	8	68,00
CAÑAR	31	24	7	77,42

⁴² Plan de Servicio universal FODETEL 2003

Provincia	Total parroquias	No. Parroquias sin servicio	No. Parroquias con servicio	% de Parroquias sin servicio
CARCHI	31	24	7	77,42
COTOPAXI	38	25	13	65,79
CHIMBORAZO	53	41	12	77,36
EL ORO	57	47	10	82,46
ESMERALDAS	61	50	11	81,97
GUAYAS	50	26	24	52,00
IMBABURA	39	28	11	71,79
LOJA	88	76	12	86,36
LOS RÍOS	22	9	13	40,91
MANABÍ	69	48	21	69,57
MORONA SANTIAGO	58	50	8	86,21
NAPO	22	17	5	77,27
PASTAZA	19	17	2	89,47
PICHINCHA	59	18	41	30,51
TUNGURAHUA	52	36	16	69,23
ZAMORA CHINCHIPE	30	25	5	83,33
GALÁPAGOS	8	5	3	62,50
SUCUMBÍOS	32	28	4	87,50
ORELLANA	19	16	3	84,21
ZONAS NO DELIMITADAS	5	3	2	60,00
TOTAL NACIONAL	940	681	259	72,45

Tabla. 4. 10. Comparación del número de parroquias por provincia con servicio y sin servicio de telecomunicaciones.

La Tabla 4.10 el porcentaje de parroquias sin servicio de telecomunicaciones en todos los casos resulta mayor al 50%; es decir la mayoría de parroquias en Ecuador son rurales.

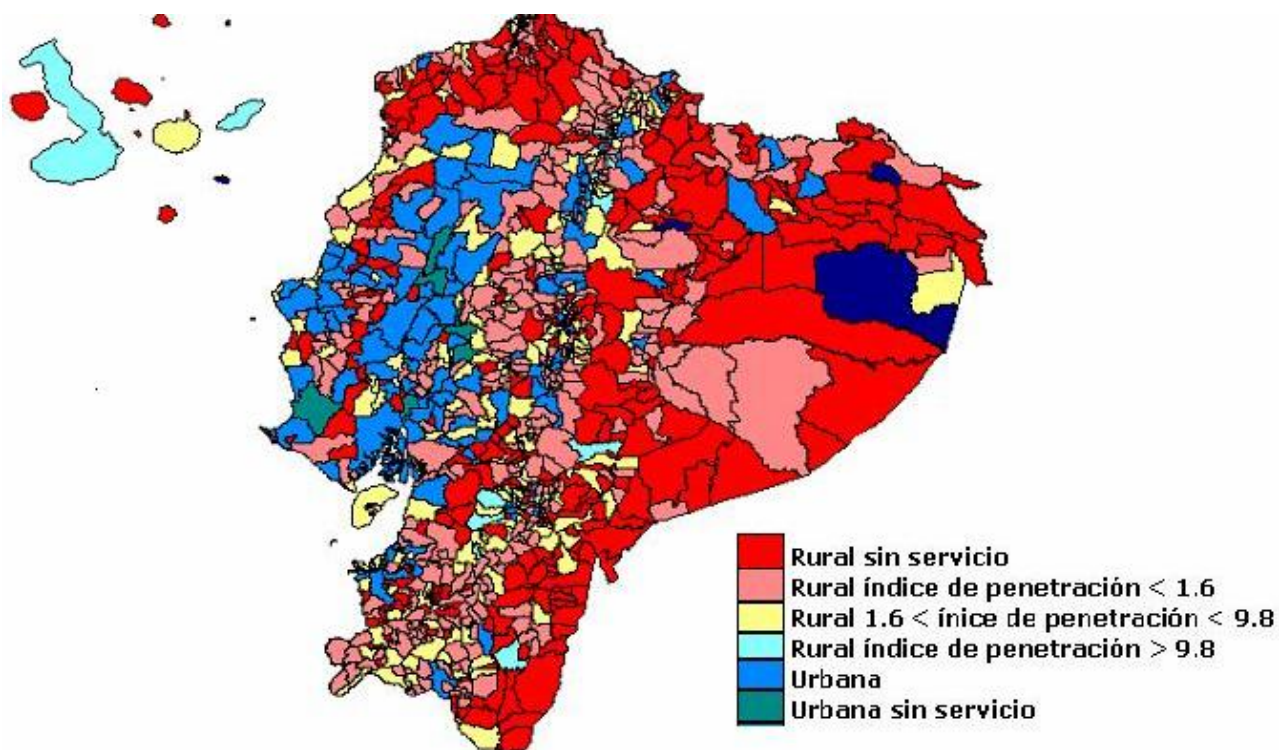


Figura. 4. 12. Poblaciones rurales y urbanas del Ecuador

4.4.1.1 Análisis de índices socioeconómicos

El análisis de la situación del Ecuador en el área de telecomunicaciones en base a estadísticas globales por provincias y parroquias en cuanto a la densidad telefónica fija y móvil, así como el acceso a Internet va a dar la pauta para la selección de las zonas en la que se podría implementar CDMA450 WLL.

Otros índices que contribuirán a una selección más detallada y verídica de dichas zonas, han sido estandarizados a nivel mundial. Para Latinoamérica la referencia proviene del Foro Latinoamericano de entes Reguladores de Telecomunicaciones (REGULATEL).

Estos índices reflejan de cierta manera la población que tiene acceso a las TIC, generalmente se presentan en porcentajes de habitantes u hogares de un país que teóricamente tienen acceso a un servicio TIC. Con estos indicadores se puede ver de una manera más cercana la demanda real que tiene la población al Servicio Universal, para así aplicar correctivos tecnológicos a fin de tratar de cubrirlos. A continuación se definen los criterios que se van a considerar para la selección.

Valor agregado bruto. Este parámetro es específico se lo obtiene por cada provincia, es el resultado de la diferencia entre la producción y el consumo intermedio en las distintas ramas que conforman la economía provincial. En la Tabla 4.11 se muestra el VAB por cada provincia correspondiente al sector de las Telecomunicaciones y correos, los datos que se presentan corresponden al 2001, ya que son las referencias más actualizadas del Banco Central del Ecuador.

PROVINCIA	%VAB no petrolero⁴³	%VAB de 2001 para correos y telecomunicaciones⁴⁴
AZUAY	5,85	6,56
BOLIVAR	0,88	0,50
CAÑAR	1,40	1,47
CARCHI	1,42	1,21
COTOPAXI	2,67	1,78
CHIMBORAZO	2,16	2,23
EL ORO	4,14	3,04
ESMERALDAS	3,44	2,05
GUAYAS	29,83	27,41
IMBABURA	2,29	2,67
LOJA	1,96	2,82
LOS RIOS	4,65	2,75
MANABI	7,92	5,16
MORONA SANTIAGO	0,72	0,51
NAPO	0,52	0,29
PASTAZA	0,60	0,35
PICHINCHA	23,47	34,90
TUNGURAHUA	3,62	3,08
ZAMORA CHINCHIPE	0,52	0,31
GALAPAGOS	0,97	0,23
SUCUMBIOS	0,60	0,32
FRANCISCO DE ORELLANA	0,35	0,17
TOTAL	100	100

Tabla. 4. 11. VAB referente al sector petrolero, correos y telecomunicaciones

El VAB destinado a las telecomunicaciones es muy bajo en la mayoría de provincias del Ecuador, exceptuando a Pichincha y Guayas, lo que significa que el capital no se invierte en telecomunicaciones.

⁴³ Se consideró importante analizar el VAB total por provincia sin considerar el sector petrolero.

⁴⁴ El porcentaje presentado se lo obtuvo respecto al total nacional.

Producto Interno Bruto PIB. El producto interno bruto se define como el valor de los bienes y servicios de uso final generados por los agentes económicos durante un período, su cálculo se lo hace globalmente, por las producciones brutas por ramas de actividad y sus respectivos consumos intermedios. La diferencia entre estas dos variables da como resultado el Valor Agregado Bruto. Para obtener el PIB total es necesario agregar el VAB de cada rama, y otros elementos como el impuesto indirecto sobre las importaciones e impuesto de valor agregado IVA.

Se debe tener en cuenta que el PIB incluye todas las ramas por lo que este no puede ser una variable de peso en la selección de las zonas, por lo tanto solo se va a considerar el VAB.

En la Tabla 4.12 se muestran un resumen de los índices que se considerarán para la selección, los datos referentes a las parroquias sin servicio telefónico han sido proporcionados por el FODETEL.

PROVINCIA	%de penetración Telefonía fija por provincia	% de penetración telefónica fija parroquias	% de parroquias sin servicio ⁴⁵	%VAB no petrolero ⁴⁶	%VAB de 2001 para correos y telecomunicaciones ⁴⁷
AZUAY	7,87	6,28	70,83	5,85	6,56
BOLIVAR	5,35	3,78	68,00	0,88	0,50
CAÑAR	7,52	3,44	77,42	1,40	1,47
CARCHI	9,93	5,88	77,42	1,42	1,21
COTOPAXI	7,66	3,67	65,79	2,67	1,78
CHIMBORAZO	8,63	2,68	77,36	2,16	2,23
EL ORO	7,63	3,95	82,46	4,14	3,04
ESMERALDAS	6,85	2,48	81,97	3,44	2,05
GUAYAS	16,87	1,76	52,00	29,83	27,41
IMBABURA	11,56	4,15	71,79	2,29	2,67
LOJA	7,56	2,37	86,36	1,96	2,82
LOS RÍOS	4,32	1,51	40,91	4,65	2,75
MANABÍ	4,83	1,73	69,57	7,92	5,16
MORONA SANTIAGO	9,15	6,26	86,21	0,72	0,51
NAPO	5,91	5,80	77,27	0,52	0,29
PASTAZA	9,52	2,93	89,47	0,60	0,35
PICHINCHA	24,71	10,00	30,51	23,47	34,90
TUNGURAHUA	11,57	6,03	69,23	3,62	3,08
ZAMORA CHINCHIPE	4,28	4,38	83,33	0,52	0,31
GALÁPAGOS	16,73	16,57	62,50	0,97	0,23
SUCUMBÍOS	4,71	1,42	87,50	0,60	0,32
ORELLANA	3,82	1,51	84,21	0,35	0,17
TOTAL	12,54	3,95	72,45	100	100

Tabla. 4. 12. Índices considerados para la selección

⁴⁵ Se toma el porcentaje de parroquias sin servicio respecto al número total de habitantes de cada provincia.

⁴⁶ Se consideró importante analizar el VAB total por provincia sin considerar el sector petrolero, ya que no entra en la definición de Servicio Universal.

⁴⁷ El porcentaje presentado se lo obtuvo respecto al total nacional.

Basándose en los índices anteriormente considerados, se va a limitar el número de provincias de acuerdo a las siguientes condiciones:

- a) El VAB destinado a las telecomunicaciones debe ser mayor o igual al 1%.
- b) Se va a excluir a las zonas con un porcentaje de densidad telefónica mayor al 5%.
- c) Se va a excluir a las zonas que posean más del 5% de circuitos en la banda de 450MHz.

El punto a) se justifica ya que según el análisis presentado en el primer capítulo sección 1.3.4 se deberá escoger poblaciones en donde los habitantes estén dispuestos a destinar una parte de sus ganancias en servicios de telecomunicaciones, b) como se debe dar preferencia a las zonas con un porcentaje de penetración bajo, se consideró incluir solamente a aquellas localidades con una densidad menor al 5%, c) también se excluye a las zonas con mas del 5% de circuitos en la banda de 450MHz debido a que puede existir interferencia.

Basándose en este procedimiento las provincias que se han escogido son:

	Ocupación en 450MHz(%)	Desnsidad telefónica Rural(%)	VAB Telecomunicaciones y Correos(%)	Población
Cañar	0,81	3,44	1,47	122.229
Carchi	0,57	5,88	1,21	79.278
Cotopaxi	3,61	3,67	1,78	177.056
Chimborazo	0,70	2,68	2,23	149728
Imbabura	1,39	4,15	2,29	165420
Esmeraldas	3,50	2,48	2,05	157993
Loja	0,33	2,37	2,75	151055
Manabí	4,67	1,73	5,16	237585
			Total	1'240.344

Tabla. 4. 13. Provincias seleccionadas para la implementación de CDMA450 WLL

El mapa digitalizado de la figura, muestra las provincias escogidas divididas por parroquias.

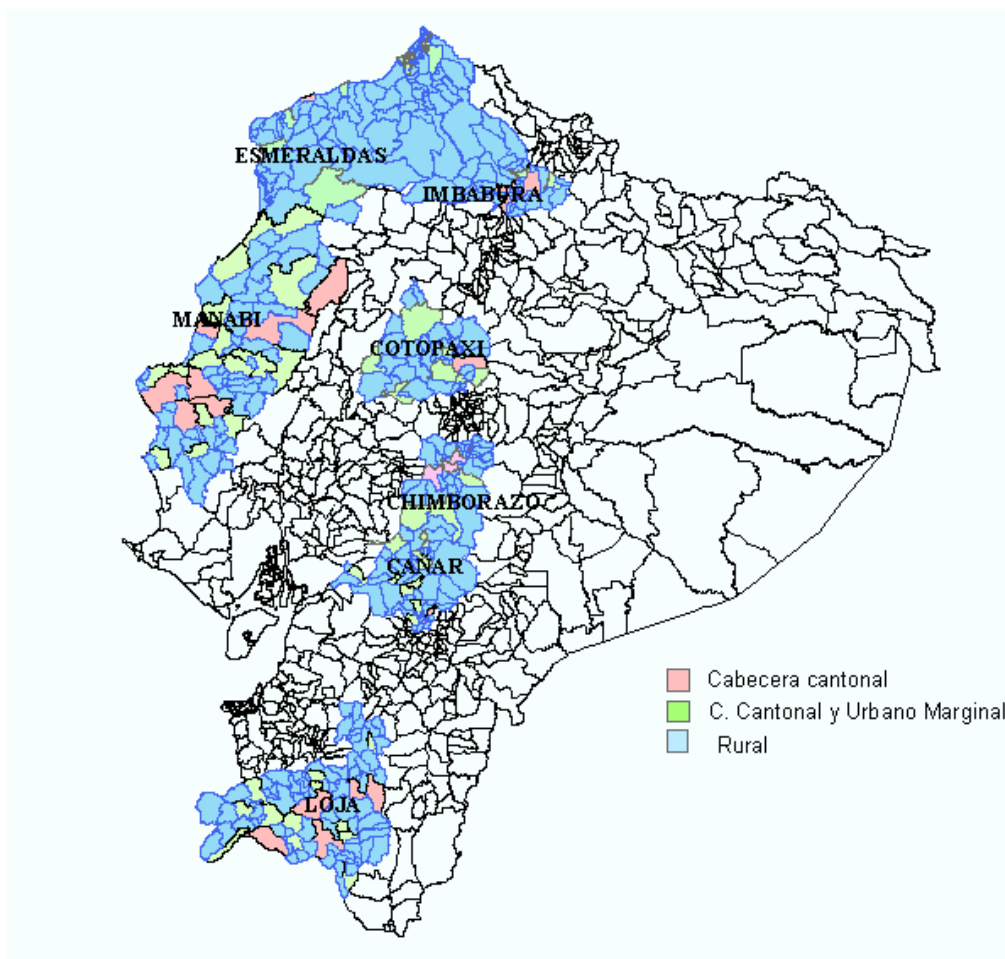


Figura. 4. 13. Ubicación de las provincias escogidas

En base a la información proporcionada por el FODETEL, el Ministerio de Agricultura y el INEC, se ha podido determinar las parroquias rurales del Ecuador como se muestra en el mapa Figura 4.13, las zonas de color azul son rurales; es decir con una densidad telefónica por debajo del 5%, y una población menor a 17000 habitantes, las zonas de color verde son cabeceras cantonales y urbano marginales, que junto con las zonas de color rosa Cabeceras cantonales, no serán tomadas en cuenta para el estudio.

Otra ventaja de escoger estas zonas, es que a la hora de concesionar, el precio a pagar por dicha concesión sería bajo con respecto a las tarifas normales, ya que en el FODETEL se considera coeficientes de corrección que bajarían dichos precios, lo que incentivaría a los operadores que se interesen en el proyecto.

4.5 MODELO DE PROPAGACIÓN

Para realizar el modelo de propagación, se toma a Manabí, ya que al ser el terreno cuasiplano se va a tener una mayor referencia de las zonas que se puede llegar a cubrir, en la Figura 4.13, se muestra las zonas que seleccionadas para implementar la tecnología CDMA450.

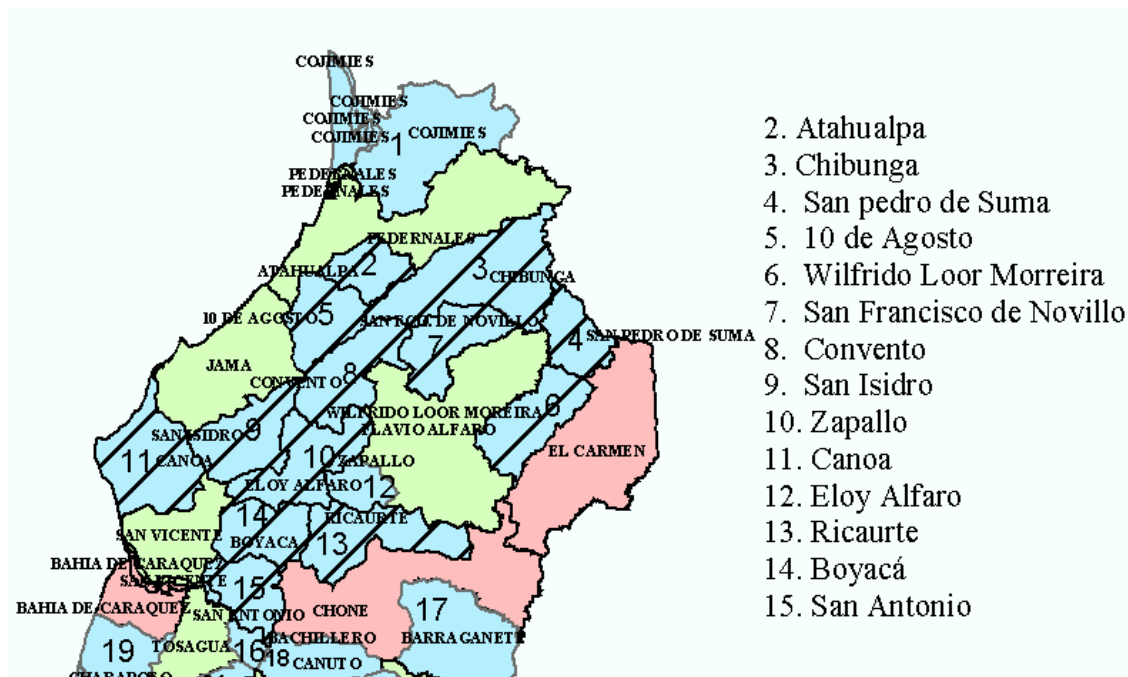


Figura. 4. 14. Parroquias seleccionadas de Manabí

No.	CAN_DESCRI	PAR_DESCRI	Población 2001		
			CONCENT.	DISPERSA	TOTAL POBLACIÓN
1	PEDERNALES	ATAHUALPA	1,064	1,535	2,599
2	CHONE	CHIBUNGA	188	6,367	6,555
3	EL CARMEN	SAN PEDRO DE SUMA	410	5,334	5,744
4	PEDERNALES	10 DE AGOSTO	176	5,149	5,325
5	EL CARMEN	WILFRIDO LOOR MOREIRA	327	4,254	4,581
6	FLAVIO ALFARO	SAN FRANCISCO DE NOVILLO	582	2,579	3,161
7	CHONE	CONVENTO	588	5,497	6,085
8	SUCRE	SAN ISIDRO	1,178	2,224	3402
9	FLAVIO ALFARO	ZAPALLO	627	2,779	3,406
10	SUCRE	CANOA	1,417	4,746	6,163

No.	CAN_DESCRI	PAR_DESCRI	Población 2001		
			CONCENT.	DISPERSA	TOTAL POBLACIÓN
11	CHONE	ELOY ALFARO	350	6,984	7,334
12	CHONE	RICAUARTE	204	7,808	8,012
13	CHONE	BOYACA	288	4,425	4,713
14	CHONE	SAN ANTONIO	889	5,822	6,711
				Total	73,791

Tabla. 4. 14. Parroquias seleccionadas de Manabí

4.5.1 Dimensionamiento de la Red

El tráfico promedio que cursa cada usuario es de 30mErlg por lo que este valor será el que se tome como referencia para el tráfico por abonado en la hora más ocupada y un GOS del 2% que es el máximo valor permitido para Telefonía Móvil Celular en Ecuador. La capacidad del sistema en CDMA es de 36 usuarios por sector en el enlace reverso 38 usuarios por sector en el enlace directo, los cuales son valores típicos que se toman en la tecnología CDMA. En la Tabla de Erlang B con 2% de GOS (ver Capítulo II tabla 2.1) se obtiene que cada portadora manejará un tráfico de 27,3431 Erlangs.

La población total en las 14 parroquias seleccionadas para ser cubiertas con el sistema es de 73.791 habitantes como se ve en la Tabla 4.14 al ser un proyecto piloto se ha considerado alcanzar una teledensidad del 11%, para cumplir este requerimiento el número total de líneas a instalar es de 6.610 líneas telefónicas.

El área total correspondiente a las 14 parroquias es de 1963 Km², el número de usuarios por Km² es: $M = \frac{6610 \text{ líneas}}{1963 \text{ Km}^2} = 3.36 \text{ usuarios} / \text{Km}^2$, con lo que se obtiene una densidad de tráfico $m = 3.36 \text{ usuarios} / \text{Km}^2 \times 0.03 \text{ Erlang} = 0,1 \text{ Erlang} / \text{Km}^2$. El tráfico que este sistema debe soportar para este número de usuarios es de $A = 0,1 \text{ Erlang} / \text{Km}^2 \times 1963 \text{ Km}^2 = 196 \text{ Erlang}$.

El sistema va a operar con una portadora de 1,25MHz, la BTS con 3 sectores y utilizando una portadora por sector se manejará (3sectores x 27,3134 Erlang) 82 Erlangs,

lo que da un área de $(1963\text{Km}^2 / (196\text{Erlang} / 82\text{Erlang})) 821,255\text{Km}^2$ por celda, la capacidad total de cada BTS será de $\left(\frac{82\text{Erlang}}{0,03\text{Erlang} / \text{usuario}} \right) 2734,31$ usuarios de voz.

Al ser la celda hexagonal se tiene un radio de 17.78 Km^{48} , con el radio de la celda encontramos que se necesita $\# \text{BTS} = \frac{1963\text{Km}^2}{821,255\text{Km}^2} = 2.38 \text{ Radiobases}$.

En la siguiente tabla se encuentra un resumen de los valores encontrados:

Variable	Valor	
Tráfico por abonado	30merlg	Dato
Tráfico por portadora	27,3431Erlang	Dato
Num. Líneas	6610	Cálculo
Distancia	1963Km	Dato
Densidad de tráfico	0.10(Erlangs/km2)	Cálculo
Área a cubrir	821.255Km ²	Cálculo
Trafico por celda	198,3	Cálculo
AB	1.25KHz	Dato
Radio de la celda	17.05Km	Cálculo
Num. Radiobases	2,38	Cálculo

Tabla. 4. 15. Valores de dimensionamiento de la red

4.5.2 Determinación de la ubicación de las radiobases

Como información inicial se tiene un número mínimo de radiobases o celdas, es decir 3, el valor real del cálculo va a depender del cálculo del área de cobertura de cada BTS.

Al escoger la ubicación se debe considerar varios parámetros como son:

- Ubicación geográfica
- Infraestructura existente
- Facilidad de acceso
- Impacto ambiental

En la Tabla 4.16 muestra los cerros que se encuentran en las zonas escogidas.

⁴⁸ Área de un hexágono $S=2,5981L^2$

Sitio	Lat.	Long.	Altura	Infraestructura Existente	Facilidad de Acceso	Factibilidad Transporte	Impacto Ambiental
Cerro pata de pájaro	00°01'06"N	79°58'35"W	724	Si	Si	Si	No
La loma	00°37'02"S	80°26'04"W	250	Si	Si	Si	No
Cerro Cabuyal	00°07'05"S	80°06'57"W	664	No	Si	Si	No

Tabla. 4. 16. Ubicación de las Radiobases

La potencia de transmisión empleada en los equipos es el parámetro fundamental para determinar el área de cobertura, se consideran varios más como condiciones del terreno para reflejar ondas radioeléctricas, aspectos de la BS, etc.

4.5.3 Link Budget

Se llama cálculo de Link Budget al cálculo de la máxima pérdida permitida en el enlace tanto directo como reverso, para lo que se debe considerar varios parámetros en el cálculo como son:

Energía de Bit. La energía de bit se representa con la siguiente ecuación:

$$E_b = P_t \times T_b \text{ (Sclar)}$$

Ecuación. 4. 1

Donde,

E_b = Energía de un bit (joules x bit)

P_t = Potencia total de portadora (Watts)

T_b = Tiempo de bit (segundos)

A la vez $T_b = 1/f_b$ donde f_b es la razón de bit por segundo por lo que se tiene:

$$E_b = P_t / f_b$$

Ecuación. 4. 2

Potencia Isotrópica Radiada Efectiva PIRE. Es la potencia resultado de la suma de la ganancia de la antena de Tx más la potencia suministrada por el equipo menos las pérdidas asociadas al transmisor y a la antena.

$$PIRE = P_t - L_{ra} + A_t$$

Ecuación. 4. 3

PIRE= Potencia irradiada isotrópica efectiva

Pt= Potencia de transmisión

L_{ra} = pérdidas asociadas con la antena transmisora

A_t = ganancia de la antena transmisora

Señal a Ruido (S/N). Para el receptor se debe tener en cuenta la proporción de energía Señal a Ruido (signal to noise⁴⁹) que es la diferencia de energía mínima a alcanzar entre la señal recibida deseada y el ruido.

Si la señal es más poderosa que el ruido, la proporción señal/ruido (proporción S/N) será positiva. Si la señal está oculta en el ruido, la proporción será negativa.

Densidad de ruido. La densidad de ruido térmico (N₀) es la potencia de ruido total normalizada a un ancho de banda de 1Hz. Es proporcional a (k.T), donde k es la constante de Boltzman y T es la temperatura en grados Kelvin matemáticamente se expresa así:

$$N_0 (dBm) = 10 \log \frac{KT}{0,001} + 10 \log B$$

Ecuación. 4. 4

N= piso de ruido (dBm).

K= constante de Boltzman (1,38e⁻²³ J/N).

T= temperatura de ruido equivalente del receptor (Kelvin)(temperatura ambiente=290K).

B=ancho de banda de ruido (Hertz).

Relación de densidad Portadora a Ruido(C/N₀). Esta relación es el promedio de la relación de la densidad de potencia a ruido de la portadora de banda ancha (portadora combinada con las bandas laterales asociadas) y el ruido térmico (te) presente en un AB de 1Hz, como función logarítmica se expresa de la siguiente manera:

$$C/N_0 (dB) = C(dBw) - N_0(dBw)$$

Ecuación. 4. 5

⁴⁹ Proporción Señal/Ruido [dB] = 10 * Log10 (Poder de Señal [W] / Poder de ruido [W])

Relación de la Densidad de Energía de Bit a Ruido(E_b/N_o). La capacidad de un sistema CDMA se da en términos de la ganancia de ensanche, de la interferencia y de la relación E_b/N_o (energía de bit sobre interferencia) requerida para el funcionamiento adecuado del sistema.

El E_b/N_o es considerado un parámetro muy importante a la hora de evaluar un sistema digital, de una manera sencilla el E_b/n_o es una manera de comparar los sistemas digitales que utilizan diferentes tasas de transmisión, esquemas de modulación y técnicas de codificación. La relación E_b/N_o es el producto de la relación de portadora a ruido (C/N) y la relación de ancho de banda del ruido por tasa de bit, en forma logarítmica se expresa como:

$$E_b/N_o(\text{dB})=C/N(\text{dB})+B/f_b(\text{dB})$$

Ecuación. 4. 6

Cabe anotar que la energía de bit (E_b) permanecerá constante siempre que la potencia de la portadora total de banda ancha (C) y la tasa de transmisión (bps) no varíen, y la densidad de ruido (N_o) permanece constante siempre que la temperatura de ruido no varíe, es decir la variación no depende de la codificación, modulación ni ancho de banda utilizado.

Relación Portadora Interferencia (C/I). En un sistema CDMA, se calcula las pérdidas de la señal que tiene cada usuario del sistema, a partir de la cobertura que tiene cada celda, ya que se conoce la intensidad de señal recibida y la potencia de transmisión. Conociendo las pérdidas por usuario se estima la potencia con que transmite cada uno según la celda de ubicación. Con esta información se puede calcular la interferencia de todos los usuarios sobre cada RBS del sistema, sumando la contribución de cada uno sobre ella, con estos datos se puede calcular la relación señal – interferencia y el bloqueo del sistema (donde la calidad de la señal no es aceptable).

Relación de la Densidad de Energía de Bit a Ruido mas interferencia (E_b/N_o+I). A la relación E_b/N_o se le añade un nuevo parámetro que es la interferencia que como se mencionó, es la suma de la interferencia de cada uno de los usuarios sobre cada RBS. El valor de interferencia que se utiliza en un sistema CDMA es 10dB.

Figura de Ruido (NF). Es la relación señal a ruido⁵⁰ de un dispositivo ideal (sin ruido) dividido para la relación señal a ruido de la salida de un amplificador o un receptor.

La figura de ruido es una medida de cuan optimizado para bajo ruido está el sistema, se mide en dB, cuanto más baja sea es mejor.

Rise Over Thermal. Una comunicación que detecta en recepción una relación señal interferencia por debajo del umbral incrementa la potencia de transmisión mejorando la comunicación, pero a costa de interferir con otras comunicaciones que ven afectadas su relación señal a interferencia decreciendo su valor, por lo que si una de estas señales bja del umbral hará lo mismo que la señal anterior, esto conlleva a un aumento paulatino del nivel de interferencia global que puede conducir hacia la saturación del mecanismo de control de potencia de todas las comunicaciones, para evitar esto, se debe diseñar la red tomando en cuenta la relación interferencia a ruido es decir el Rise Over Thermal. El valor que generalmente se usa en un sistema CDMA con una velocidad de información de 9,6Kbps es de 6dB, la curva típica se forma con códigos al azar, el rango de operación práctico esta dado por el rise over thermal con valores entre 3-10dB como se muestra en la Figura 4.15.

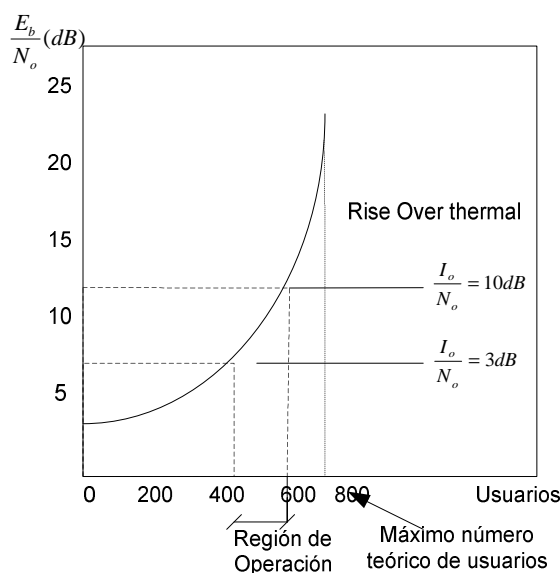


Figura. 4. 15. Región de Operación de CDMA

Sensibilidad del Receptor. Se define como la capacidad de un receptor para detectar las señales de radio deseadas en presencia de ruido el que puede se externo (rayos, etc) o

⁵⁰ Esta medida indica cuan mayor es la señal útil respecto a la señal de ruido

interno (ruido térmico). El receptor tiene un umbral (threshold) mínimo de energía recibida, la señal tiene que alcanzar un cierto nivel para ser escuchado por la radiobase. Si la energía de señal es más baja que el nivel máximo alcanzable será decrementada o se decrementará el desempeño, el parámetro de sensibilidad está dado por el fabricante. se calcula mediante la siguiente ecuación.

$$S_{Rx} (dB) = N(dBm) + NF(dB) + ROT + Eb/(N_o + I_o)$$

Ecuación. 4. 7

donde,

N=Piso de ruido térmico (dB)

NF=Figura de ruido(dB)

ROT=Rise Over Termal (dB)

Eb/(N_o+I_o)=Confiabilidad ante interferencia(dB)

La pérdida total máxima está determinada por:

$$L_{PLmax} (dB) = P_{Tx} (dBm) + G_{ATx} (dB) + G_{ARx} (dB) - S_{Rx} (dBm)$$

Donde,

P_{Tx}=Potencia total transmitida (dBm)

G_{ATx}=Ganancia de la antena de transmisión (dB)

G_{ARx}=Ganancia de la antena de recepción (dB)

S_{Rx}= Sensibilidad del receptor (dBm)

Margen de interferencia (L_{int}) El control de potencia que utiliza CDMA posee un control automático de la ganancia en los terminales y un monitoreo constante del nivel señal a ruido, lo que influye en el tamaño de la celda, ya que en una celda congestionada la potencia de todas las terminales se elevaría creando interferencia mutua . En el margen esta interferencia sería tomada por las radiobases de las celdas vecinas, por lo que se dimensiona la red tomando en cuenta un valor denominado “margen de interferencia” en el que se considera la degradación en el enlace que provoca la interferencia reduciendo al máximo la pérdida total.

Shadow margin(M_{shad}) Se llama shadowing (desvanecimiento) al efecto que provoca las obstrucciones en el enlace causadas por objetos de gran tamaño que se interponen en el enlace cuando el usuario se mueve.

Ganancia del Handoff(G_{ho}). El Terminal esta constantemente monitoreando el nivel de potencia de las celdas adyacentes por lo que al realizar el handoff o traspaso de celda, se va a tener una cierta ganancia, ya que la potencia de la celda a la que se cambie el usuario va a ser mayor a la actual.

Por lo que la ecuación completa incluyendo los efectos mencionados para obtener la máxima pérdida admisible es:

$$L_{PL_{max}} (dB) = P_{Tx} (dBm) + G_{ATx} (dB) + G_{ARx} - S_{Rx} (dBm) - L_{int} (dB) - M_{shad} (dB) + G_{ho} (dB)$$

Ecuación. 4. 8

donde,

$L_{PL_{max}}$ = Máxima pérdida total admisible (dB)

M_{shad} = Shadow margin (dB)

L_{int} = Margen de interferencia (dB)

La cobertura se va a definir básicamente por la máxima pérdida permitida, en la Tabla 4.17 se muestra el cuadro del cálculo de balance del enlace reverso (Uplink), con el que se va a obtener la máxima pérdida admisible en el trayecto.

Parámetro	Unidad	Valor	Origen
Máxima Potencia Transmitida	dBm	24,7	Entrada
Máxima Potencia Transmitida	mW	295,1209227	Entrada
Pérdidas en cables y conectores	dB	0	Entrada
Ganancia de la Antena de transmisión	dB	15,7	Entrada
PIRE total transmitido	dB	48,5	Calculo
Ganancia de la Antena de recepción	dB	11,1	Entrada
Pérdidas en cables y conectores	dB	3	Entrada
Densidad de ruido térmico	dBm/Hz	-173,8736446	Calculo
Densidad de ruido térmico	mW/Hz	4,0986E-18	Calculo
Información de velocidad	Kbps	9,6	Entrada
Información de velocidad	dbHz	39,82	Calculo
Piso de ruido Térmico	dBm	-134,0536446	Calculo
Piso de ruido Térmico	mW	3,91E-17	Calculo
Figura de ruido de recepción	dB	5	Entrada
Porcentaje y Capacidad de carga	%	75	Entrada
Rise Over Thermal	dB	6	Calculo
Eb/(No+10)	dB	4,1	Entrada
Desviación Estandar Eb/(No+10) requerido	dB	0,5	Entrada
Promedio Eb/No	dB	4,6	Calculo
Sensibilidad del Receptor	dBm	-118,454	Calculo
Confidence(Cell Edge)	%	90	Entrada
Desviación Estandar log normal Shadow	dB	8	Entrada
Margen Log Normal Shadow	dB	10,25	Entrada

Parámetro	Unidad	Valor	Origen
Ganancia de Handoff	dB	4,01	Entrada
Máxima pérdida en el trayecto permitida	dB	184,514	Calculo

Tabla. 4. 17. Link Budget enlace reverso

Para el cálculo del enlace directo (download)BTS-MS, se deben tomar en cuenta otros para parámetros de pérdidas como se ve en la Tabla 4.18:

Parámetro	Unidad	Valor	Origen
Máxima Potencia Transmitida	DBm	43,01029996	Entrada
Máxima Potencia Transmitida	MW	20000	Entrada
Pérdidas en cables y conectores	DB	3	Entrada
Ganancia de la Antena de transmisión	Dbi	11,1	Entrada
PIRE total transmitido	DB	63,81029996	Calculo
Ganancia de la Antena de recepción	Dbi	15,7	Entrada
Pérdidas en cables y conectores	DB	3	Entrada
Densidad de ruido térmico	dBm/Hz	-173,877229	Calculo
Densidad de ruido térmico	mW/Hz	4,09E-18	Calculo
Información de velocidad	Kbps	9,6	Entrada
Información de velocidad	DbHz	39,82271233	Calculo
Piso de ruido Térmico	DBm	-134,054517	Calculo
Piso de ruido Térmico	MW	3,93141E-14	Calculo
Figura de ruido de recepción	DB	5	Entrada
Porcentaje y Capacidad de carga	%	75	Entrada
Rise Over Thermal	DB	6	Entrada
Eb/(No+10)	DB	3,7	Entrada
Desviación Estandar Eb/(No+10) requerido	DB	0,5	Entrada
Promedio Eb/No	DB	4,2	Calculo
Sensibilidad del Receptor	DBm	-118,834	Calculo
Confidence(Cell Edge)	%	90	Entrada
Desviación Estandar log normal Shadow	DB	8	Entrada
Margen Log Normal Shadow	DB	10,25	Entrada
Ganancia de Handoff	DB	0	Entrada
Máxima pérdida en el trayecto permitida	DB	199,194	Calculo

Tabla. 4. 18. Link Budget enlace directo

Como se dijo anteriormente el modelo de propagación que se va a utilizar para proyectar la cobertura, será el de Okumura-Hata. Este es un método estadístico ya que no toma en cuenta la topología del terreno por lo que para las zonas escogidas es más que suficiente pues es un terreno plano, casi ideal, las antenas en el Terminal deben tener una altura de 1-10m y en la BS una altura de 30-200 m.

Este modelo fue desarrollado en base a medidas realizadas en diferentes ciudades de Estados Unidos y Japón. Una de las más conocidas fue llevada a cabo en Japón por Okumura, a partir de las cuales se prepararon unas curvas de propagación que permiten incluir diferentes parámetros, como la ondulación del terreno y la presencia de obstáculos

aislados, generalmente es la más usada sobre todo en entornos rurales, por su sencillez y relativa exactitud, estas curvas fueron la base de Hata para aplicarlo matemáticamente en una amplia gama de frecuencias y alturas de estaciones base y móviles.

Las curvas de Okumura-Hata proporcionan valores de la intensidad de campo, cubre bandas de 150, 450 y 900MHz. Con las curvas van correcciones que toman en cuenta los efectos de ondulación y heterogeneidad del terreno (trayectos mixtos tierra/mar), presencia de objetos que influyan en la transmisión, etc. Este método es bastante exacto y es el más utilizado a la hora de realizar estudios de ingeniería.

La ecuación de Hata para pérdidas de propagación en un entorno urbano esta dado por

$$\text{Path loss Urbano} = L_{hu} = c_1 + c_2 \log(f) - 13,82 \log(h_b) - a(h_m) + (44,9 - 6,55 \log(h_b)) \log(d)$$

Ecuación. 4. 9⁵¹

Donde,

F=frecuencia (MHz)

H_b=altura de la estación base(m)

H_m=altura de la estación fija(m)

D=distancia(m)

C₁=69,55

C₂=26,16

En el caso de pérdida de propagación en un entorno pequeño la ecuación es:

$$a(h_m) = (1,1 \log(f) - 0,7) h_m - (1,56 \log(f) - 0,8)$$

Ecuación. 4. 10

La corrección para pérdidas de propagación en un entorno rural esta dado por:

$$\text{Path Loss Rural} = L_{QO} = L_{hu} - 4,78(\log(f)^2 + 18,33 \log(f) - 35,94)$$

Ecuación. 4. 11

El modelo es aplicable para los siguientes rangos:

⁵¹ Tomado de las recomendaciones de la UIT-R respecto a modelos de propagación

Rango de Frecuencia: 150 - 1500 MHz

Altura de la estación Base: 30 – 200m

Altura del móvil: 1 – 10 m

Los datos del enlace que se va a presentar son:

Datos del uplink

F= 450MHz

hb=30m

hm=1,75m

Los cálculos para encontrar la distancia en el uplink con dicha predicción son:

$$184,514=L_{hu}=69,55+26,26\log(450\text{MHz})-13,82\log(30)-a(1,75)+(44,9-6,55\log(30))\log(d)$$

$$D= 77,311\text{Km}$$

Para encontrar la distancia en el downlink con dicha predicción son:

$$199,194\text{dB} =L_{hd}=69,55+26,26\log(450\text{MHz})-13,82\log(30)-a(1,75)+(44,9-6,55\log(30))\log(d)$$

$$D= 201,83\text{Km}$$

En la siguiente tabla se muestra la distancia (radio de la celda) encontrada a través de el modelo de Okumura-Hata.

Uplink	
Pérdidas de Okumura	184,514dB
Distancia	77,311Km
Downlink	
Pérdidas de Okumura	199,194dB
Distancia	201,83Km

Tabla. 4. 19. Distancia calculada a través del modelo de Okumura-Hata

Según los cálculos obtenidos con Okumura-Hata el radio de cada celda será aproximadamente de 77,311Km con una potencia de transmisión de 20W y una sensibilidad del receptor de -118,454dBm.

Basándose en la sensibilidad encontrada, se va a obtener la intensidad de campo eléctrico que es un parámetro que define la calidad de señal que llega a los diferentes puntos, la fórmula para obtener dicha variable es:

$$E=U+107+20\log(F)-6-29.8$$

Donde,

E (campo eléctrico) dBuV/m

U (sensibilidad) dBm: -118.454 dBm

Frecuencia (MHz) : 450MHz

Ganancia (Antena Rx): 0dB

Esta ecuación nos da un valor de 11.8 dBuV/m, dicho parámetro es el nivel de campo eléctrico que determina el borde del área de cobertura.

4.5.4 Implementación en el simulador

El software escogido para el modelo de propagación es “Radio Mobile, Radio Propagation and Virtual Mapping Versión 6.3.1”⁵², este software es una herramienta que contribuye en la elaboración de las redes de comunicación por radio, ya que es un programa de simulación que permite verificar el funcionamiento de la red, evalúa si un enlace de radio es posible entre dos sitios dados. La teoría de propagación que utiliza este software se basa en el modelo de Hata. Trabaja con mapas digitalizados mostrando la cobertura que proporciona cada radiobase según los datos ingresados, así como el diagrama del perfil del terreno, entre otros.

4.5.5 Procedimiento

A continuación se detalla el procedimiento a seguir para el uso de la herramienta computacional.

⁵² Software utilizado en SENATEL para la verificación de enlaces

1. Se ingresan las coordenadas de las 14 localidades seleccionadas, así como de los tres cerros escogidos y las de una estación fija de referencia a la cual se van a orientar las antenas de las tres RBS, en las Figura 4.16, 4.17, 4.18 se muestran los 18 puntos ingresados y las alturas de los tres cerros respectivamente.

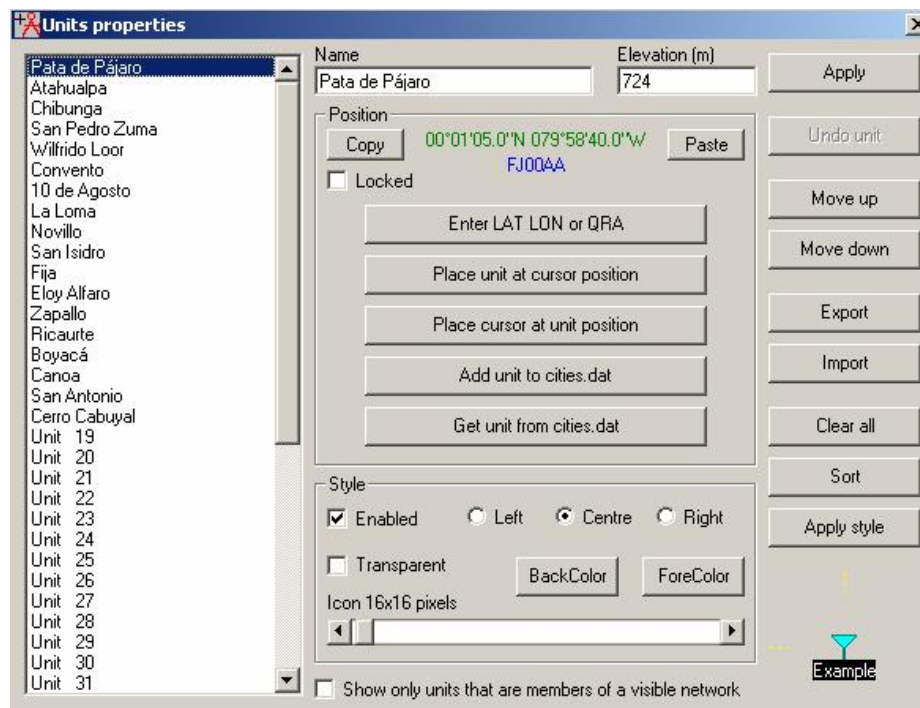


Figura. 4. 16. Altura Cerro Pata de Pájaro obtenida en Radio Link

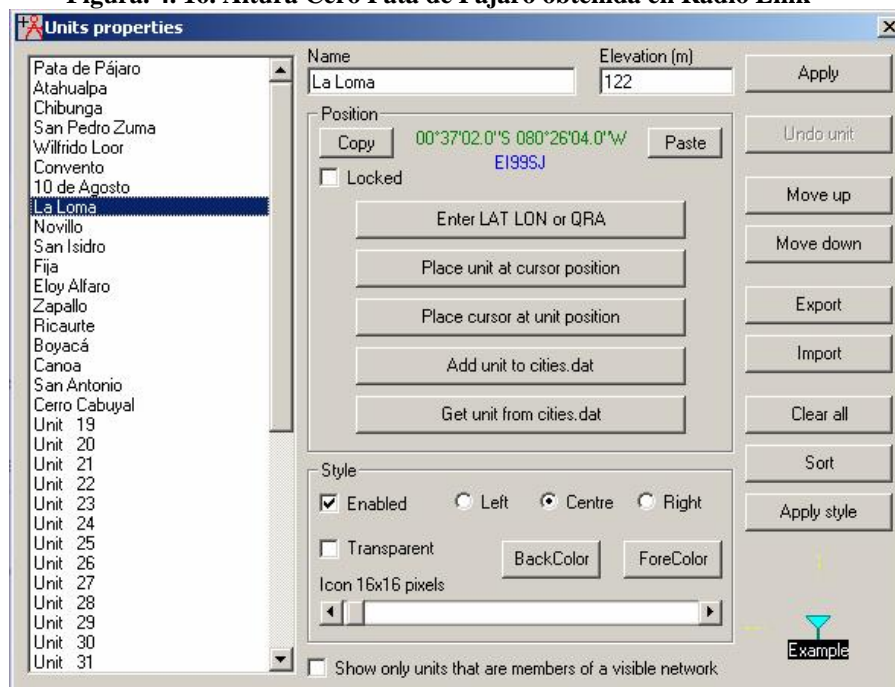


Figura. 4. 17. Altura Cerro La Loma obtenida en Radio Link

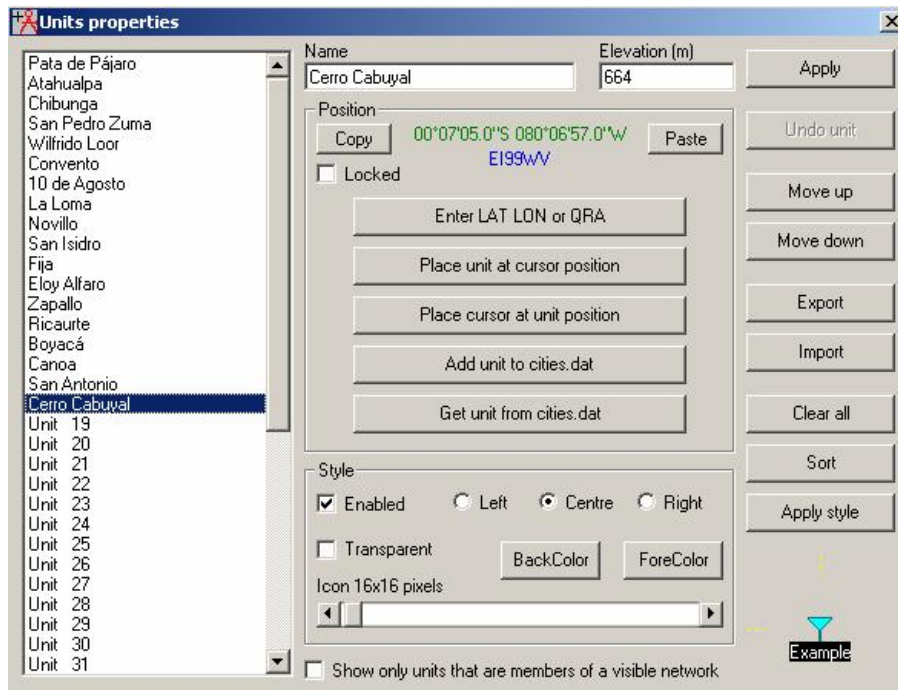


Figura. 4. 18. Altura Cero Cabuyal obtenida en Radio Link

2. En la Figura 4.19 se muestra la red creada para la cobertura de las localidades escogidas

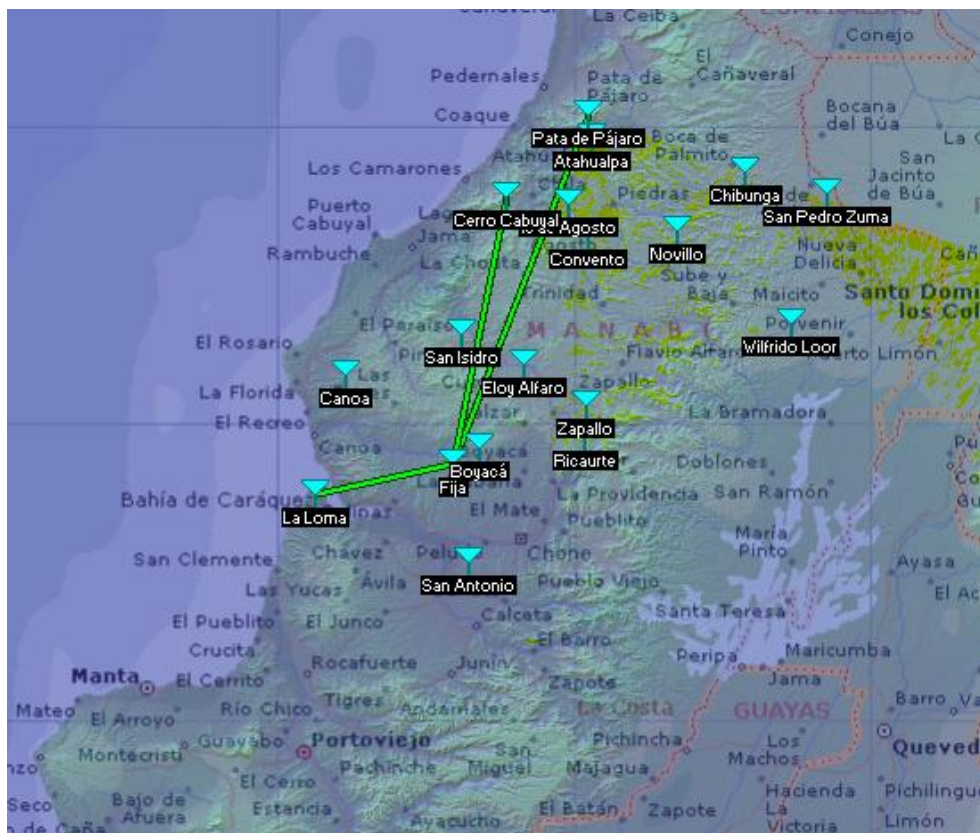


Figura. 4. 19. Diagrama de red del enlace

3. Para efectuar las pruebas en el software antes mencionado se configuraron las tres RBS colocando tres antenas direccionales con una apertura del lóbulo de radiación

de 30^{53} , considerando el área que se desea cubrir se ubicaron las antenas de manera consecutiva, los azimuths que se presentan a continuación fueron escogidos debido a que cumplen con los requerimientos de cobertura.

3.1 Para el Cerro Pata de Pájaro los azimuth seleccionados fueron de 125° 155° 185° , en la Figura 4.20 se muestran las orientaciones de los patrones de radiación de cada antena respectivamente.

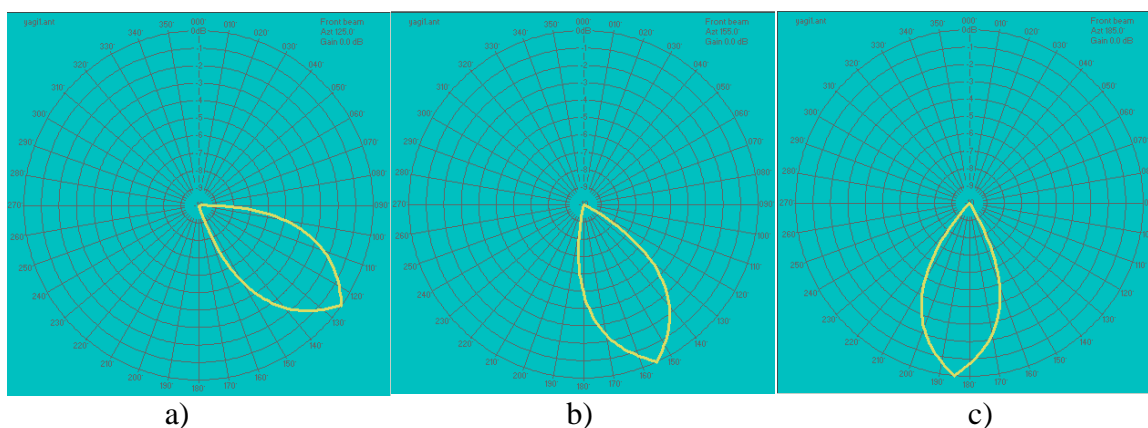


Figura. 4. 20. Diagramas de radiación de las antenas ubicadas en el Cerro Pata de Pájaro a) 125° , b) 155° , c) 185°

3.2 Para el Cerro La Loma los azimuths seleccionados fueron de 65° 95° 125° , en la Figura 4.21 se muestran las orientaciones de los patrones de radiación de cada antena respectivamente.

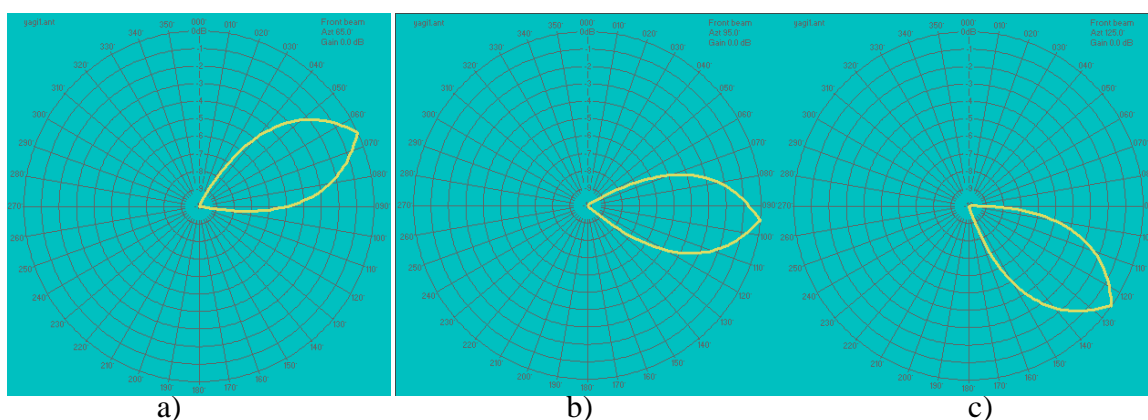


Figura. 4. 21. Diagramas de radiación de las antenas ubicadas en el Cerro La Loma a) 65° b) 95° c) 125°

3.3 Para el Cerro Cabuyal los azimuth encontrados fueron que se encontraron fueron de 155° 185° 225° , en la Figura 4.22 se muestran las orientaciones de los patrones de radiación de cada antena respectivamente.

⁵³ Especificaciones técnicas de la antena, CAPITULOIII sección

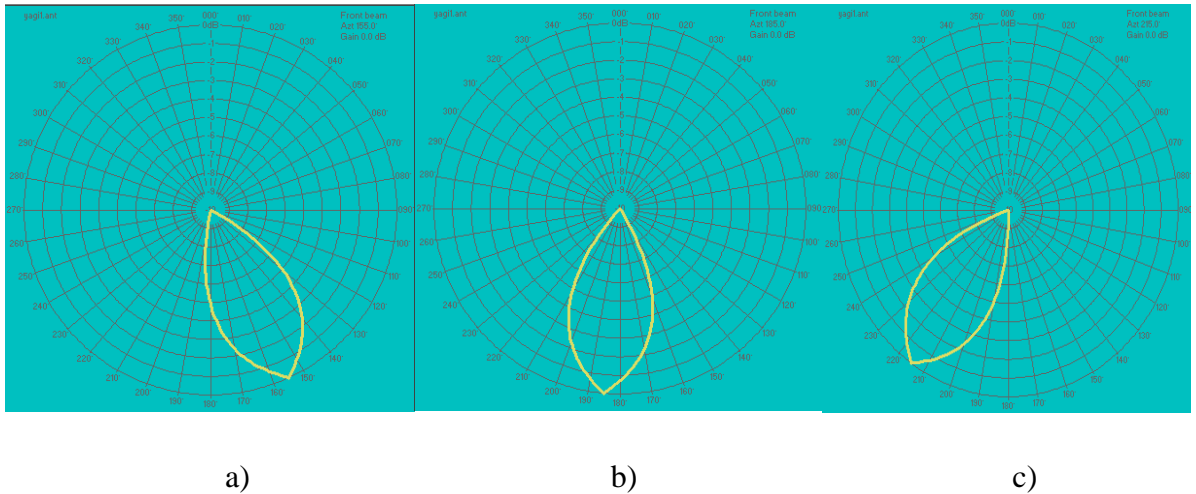


Figura. 4. 22. Diagramas de radiación de las antenas ubicadas en el Cerro Cabuyal a) 65° b) 95° c)125°

- Se grafica el enlace correspondiente a cada RBS, los datos a ingresar van a ser los mismos para las tres radiobases de acuerdo a los cálculos anteriormente realizados y a las especificaciones de cada equipo, en la Figura 4.23 se muestran dichos parámetros.

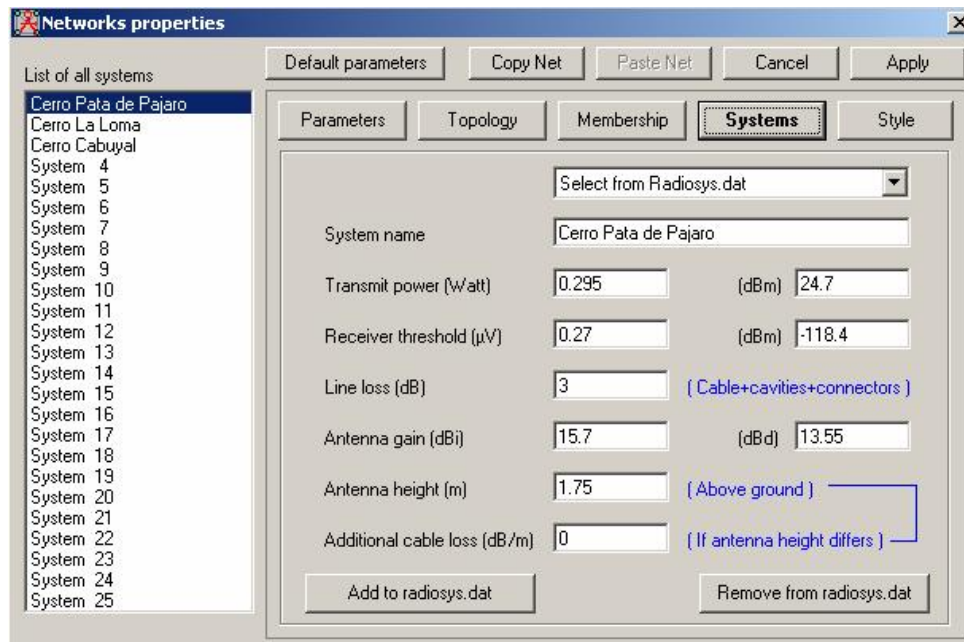


Figura. 4. 23. Datos ingresados para el enlace Cerro Pata de Pájaro estación Fija

- Se realiza el diagrama de los tres enlaces (Figuras 4.25, 4.26, 4.27), verificando gráficamente el nivel mínimo de la señal, tomando como referencia un nivel de 11.8 dBuV/m como señal mínima detectable, este nivel corresponde al color rojo en la tabla de colores del software Figura 4.24.

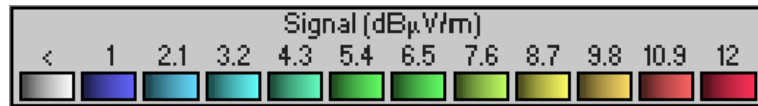


Figura. 4. 24. Cuadro de colores para determinar la intensidad de una señal detectable

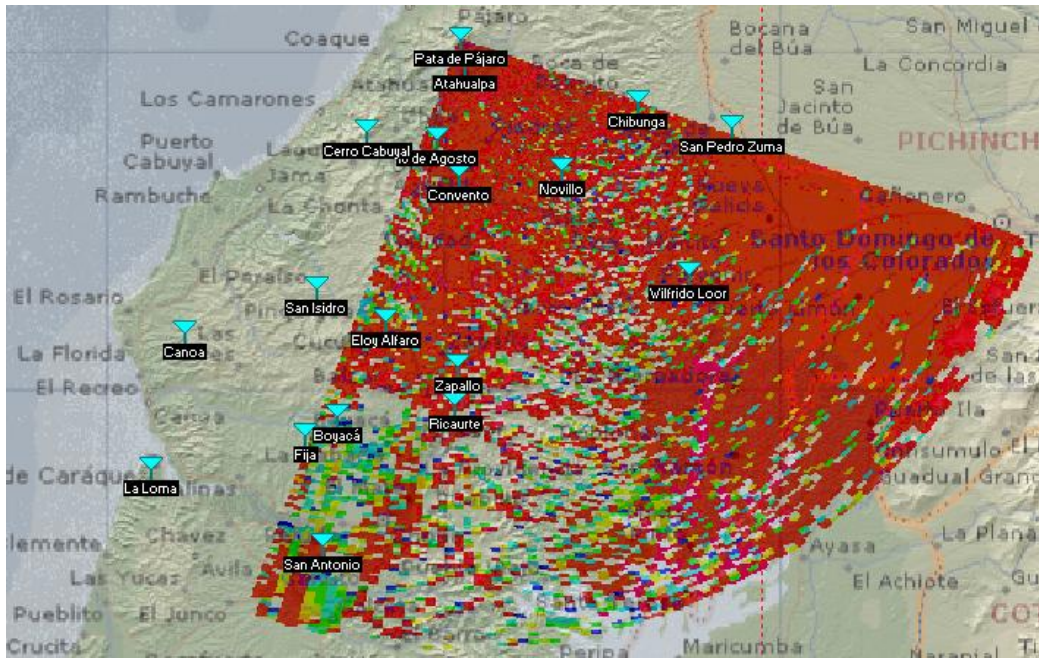


Figura. 4. 25. Enlace Cerro Pata de pájaro orientada hacia la estación Fija

La Radiobase de Cerro Pata de Pájaro cubre a: Atahualpa, Chibunga, San Pedro de Zuma, Convento Novillo, Wilfrido Loor, Eloy Alfaro y Zapallo con un nivel de señal detectable.

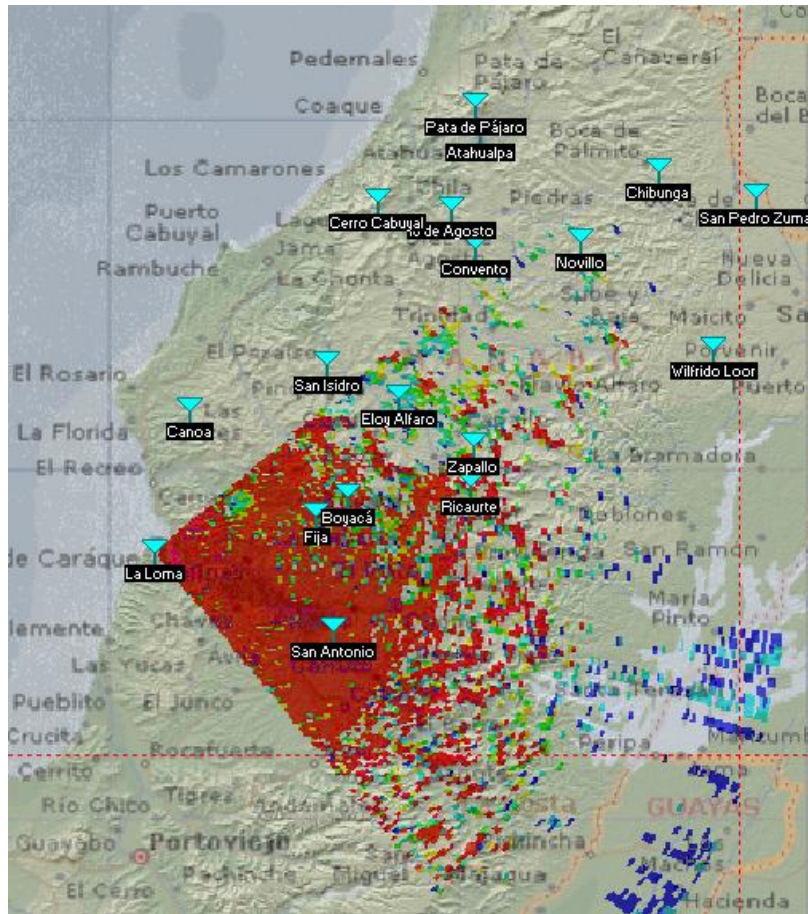


Figura. 4. 26. Enlace Cerro la Loma orientada hacia la estación Fija

La RBS La loma cubre a: Boyacá, San Antonio y un pequeño porcentaje de Ricaurte

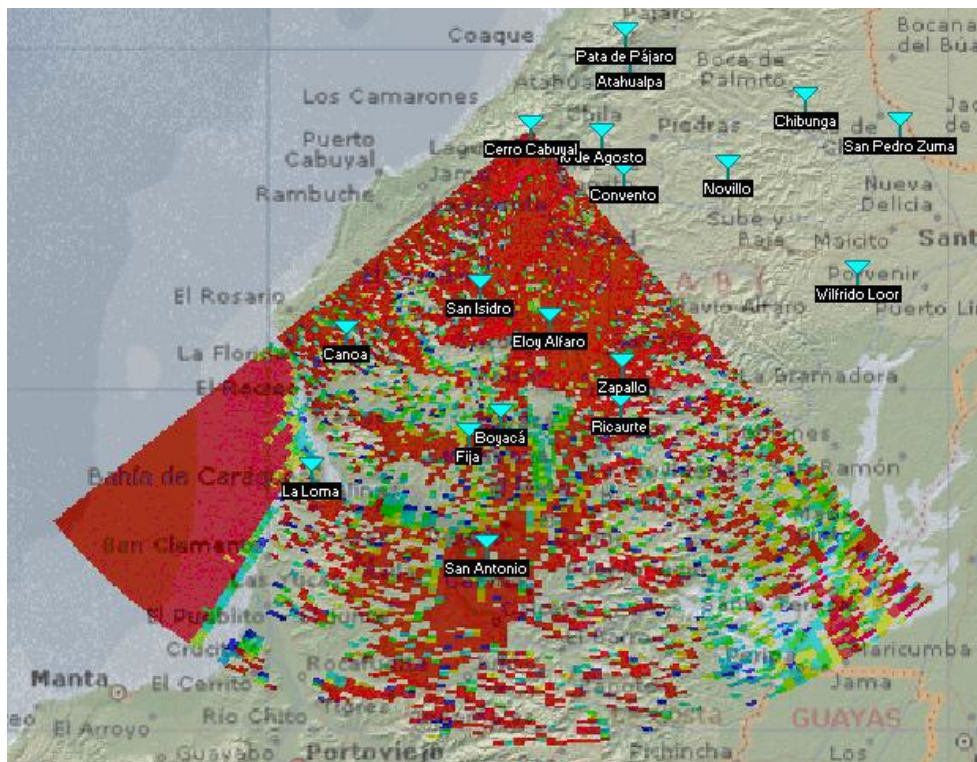


Figura. 4. 27. Enlace Cerro Cabuyal orientada hacia la estación Fija

La RBS Cabuyal cubre a San Isidro, Canoa, Boyaca, San Antonio, Eloy Alfaro

A continuación se puede ver la cobertura total que se da cuando los tres cerros están implementados Figura 4.28.

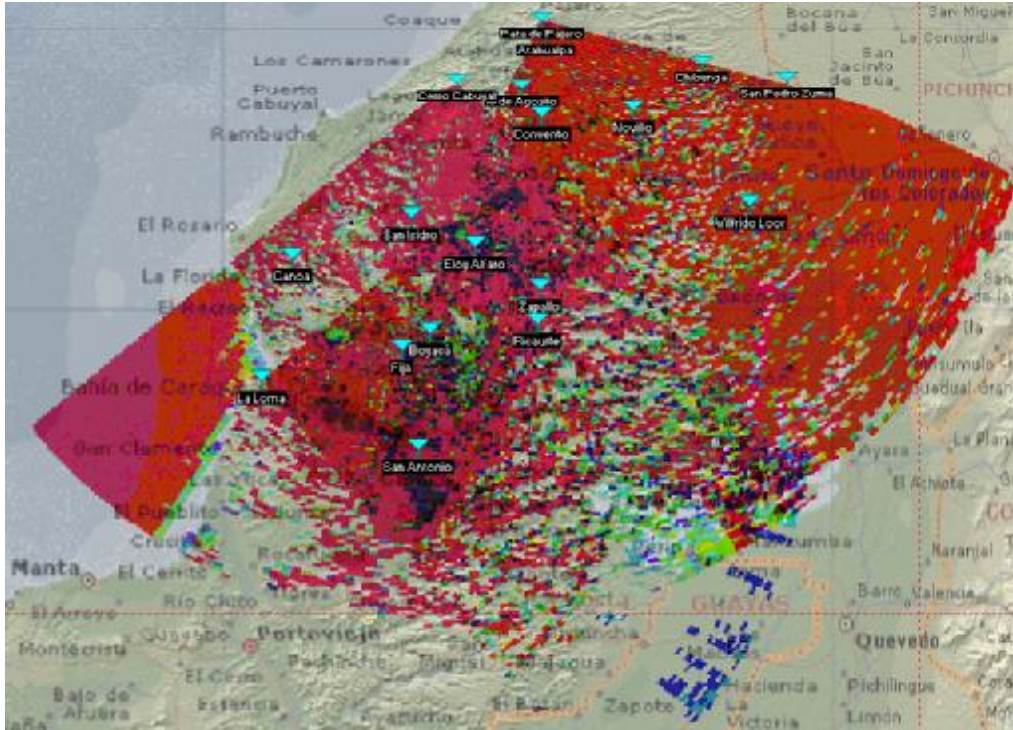


Figura. 4. 28. Cobertura de los tres cerros

Al graficar los tres enlaces se puede ver como se cubre totalmente las zonas deseadas, de acuerdo a lo previsto en el dimensionamiento de la red, además en un futuro a corto plazo se puede dar la tecnología a otras zonas rurales que por su ubicación también están dentro de la cobertura de las RBS.

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- El Marco Regulatorio en cuanto al Servicio Universal debe ser totalmente claro, considerando las obligaciones y derechos que tienen las operadoras y los pobladores respectivamente.
- Una gran ventaja de la tecnología CDMA, es que al conseguir que cada emisor transmita con la mínima potencia requerida, se disminuye la interferencia total, se incrementa la capacidad del sistema y se pueden añadir más comunicaciones, además de incrementar la vida útil de las baterías.
- Al usar la misma portadora en todas las celdas (rehuso de frecuencias unitario) se beneficia la capacidad del sistema y eliminan los problemas que conlleva la planificación de frecuencias, debido a la eficiencia de la tecnología CDMA, por el acceso a través de códigos.
- De acuerdo al estudio del Plan Nacional de Frecuencias, no existe ningún impedimento en la banda de 450MHz para la implementación de la tecnología CDMA WLL.
- A partir de este proyecto piloto de telefonía fija inalámbrica, se dejan abiertas muchas opciones para la introducción de nuevas tecnologías como CDMA EV-DO y EV-DV, las cuales a más de manejar velocidades de hasta 2,4Mbps.
- Las nuevas tecnologías para zonas rurales como CDMA450, representan un gran beneficio para los usuarios finales de telecomunicaciones, ya que se integraría a varias poblaciones que carecen de un servicio básico e importante como es el de telefonía y el internet.

- En cuanto a los costos de los equipos para este proyecto, estos se reducirían en un gran porcentaje al ser orientado al Servicio Universal, pues las empresas que lo proporcionarían además proveer equipos a precio de costo, otorgan un plazo prudente para recuperar su inversión, con la debida garantía de que el organismo promotor del proyecto, en este caso el FODETEL, financie los costos para que puedan recuperarse en su totalidad dentro del plazo establecido.
- Se escogió la banda de 450 MHz considerando que el costo de los equipos en este rango es más bajo que en otras bandas, a más de que es posible una mayor cobertura es posible con pocas radiobases dadas las características físicas y eléctricas de las frecuencias bajas.
- Debido a las grandes ventajas que brinda la tecnología CDMA WLL, el internet se convertiría ya no en una aspiración sino en una realidad para usuarios que no han tenido fácil acceso a las comunicaciones; es decir, el adelanto tecnológico pronto llegará a todos los sectores del país.
- En el Ecuador se presenta un fenómeno común en todos los países de Latinoamérica que es la concentración de capital proveniente de todas las ramas empresariales, entre ellas y en un gran porcentaje el de las telecomunicaciones en las provincias principales del país, es este caso Pichincha y Guayas.
- La concentración de actividades de Telecomunicaciones en Pichincha y Guayas se da debido a que el acceso a los mercados, el establecimiento de negocios, el ingreso de capital resulta más fácil en dichas zonas, y sobretodo por la falta de políticas que permitan un acceso equitativo a la sociedad de la información en todo el país.
- Después del estudio realizado, se ve que la brecha de acceso en el Ecuador es demasiado grande en las zonas rurales del país, pero se puede reducir con tecnologías como CDMA450 que se la puede considerar un macroproyecto ya que en un plazo adecuado y con tecnología de precios bajos se llegaría a cubrir distancias muy alejadas de la zona urbana.

- De acuerdo a las bases de datos que se encuentran en la SENATEL, se ha verificado que en la zona rural es casi nula la concesión de frecuencias para servicios de radiocomunicaciones, por lo que se puede decir que la banda 450MHz está despejada en dichas zonas

5.2 RECOMENDACIONES

- Antes de implementar la tecnología en una zona rural, se debe hacer un “survey” o barrido de las posibles portadoras que se encuentren en la banda de 450MHz y compararlas con la base de datos de la Secretaría Nacional de Telecomunicaciones, a fin de analizar un posible plan de migración hacia otras bandas.
- A la par del proyecto de instalación de los telecentros polivalentes basados en CDMA450 se debe dar capacitación a los habitantes de las diferentes localidades, para que puedan manejar adecuadamente los equipos, además de promover en los pobladores una fuente extra de ingresos.
- La institución gubernamental que deberá estar encargada de este proyecto es el FODETEL (Fondo de Desarrollo de las Telecomunicaciones), dado que es la encargada de impulsar el Acceso Universal a más de incentivar a las grandes operadoras para invertir en el desarrollo de las telecomunicaciones en el país.
- Para futuros proyectos técnicos en zonas rurales, se debería contar con el apoyo de alguna institución privada o del Estado a fin de que se creen caminos de acceso y se provea la electrificación necesaria a los cerros que se encuentren en dichas zonas, donde se ubicarían las radiobases, ya que constituye un bien social para personas alejadas tecnológicamente.
- Para una correcta determinación del VAB, el Banco Central del Ecuador debe considerar al sector de Telecomunicaciones como un ente independiente; ya que este es un parámetro fundamental para la selección de provincias en las que se pueda prestar tecnologías de Acceso Universal. Actualmente los datos económicos

de Telecomunicaciones, se encuentran unificadas con el sector de correos, lo que no permite apreciar el verdadero valor del VAB aplicable a Telecomunicaciones.

- Se recomienda investigar acerca de otras alternativas tecnológicas para tener un presupuesto referencial, y poder tener distintas opciones para escoger el sistema más adecuado.
- No se hizo un análisis de perfiles topográficos ya que para el ejemplo se toma una zona referencial casi plana. Para zonas con obstrucciones se recomienda realizar dichos análisis porque podría influir en la calidad de la señal.

BIBLIOGRAFIA

- SAVO GLISTIC ; BRANKA VUCETIC, “*Spread Spectrum CDMA Systems for Wireless Communications*” ; Editorial Artech House Publisher; 1997.
- VIJAK K. GARG; “*IS-95 CDMA and CDMA 2000: Cellular/PCS System Implementation*”; Editorial Artech House Publisher; 2000.
- MUÑOZ RODRÍGUEZ, David; “*Sistemas Inalámbricos de Comunicación Personal*”; Editorial Alfaomega; 2001.
- MONTEIRO LIMA, André Gustavo; “*Comunicacoes Móveis Do Análogo Ao IMT-2000*”; Editorial Axcel Books do Brasil Editora; Brasil 2003.
- SAMUEL C. YANG; “*CDMA RF System Engineering*”, Mobil Communications Series; Editorial Artech House Publisher, 1998.
- JOHN B. GROE; “*CDMA Mobile Radio Design*”; Mobile Communications Series; Editorial Artech House Publisher; 2000.
- THEODORE RAPPAPORT; “*Communication Engineering and Emerging Technologies*”; Editorial Artech House Publisher; 1999.
- TERO OJAPERÄ; “*Wideband CDMA for Third Generation Mobile Communications*”; Editorial Artech House Publisher; 1998.
- WAYNE TOMASI; “*Sistemas de Comunicaciones Electrónicas*”; Segunda Edición Prentice Hall.

- HERNANDO RABANOS, José María; “*Comunicaciones Móviles*”; Editorial Centro de Estudios Ramón Areces; Madrid 1993.
- “*Ley de Telecomunicaciones, Reglamento Legislación*”; Tomo I y II; Corporación de Estudios y Publicaciones; Quito 2003.
- FODETEL; “*Plan de Servicio Universal*”, Quito 2003.
- UIT-REGULATEL; “*Aspectos Regulatorios del Servicio Universal*”; “*Redes Inalámbricas*”, Quito 2005.
- BANCO CENTRAL DEL ECUADOR, “*Informes estadísticos del valor Agregado Bruto*”, Quito 2000.
- SENATEL; “*Plan Nacional de Frecuencias*”; Quito 2003.
- PADILLA, Oswaldo; “*Potencial Económico Provincial*”; CORDES; Quito 20001.
- Qualcomm - Cdma 120- Cdmaone & Cdma2000 Concepts & Terminology – 2002; “*Canales en CDMA*”.
- RADIO FREQUENCY PLANNING GROUP, Spectrum Planning Report ; “*Investigación de la correcciones del modelo de propagación de Hata*”; 2001.
- <http://www.bce.fin.ec/contenido.php?CNT=ARB0000003>; “*Estadísticas Económicas*”.
- <http://www.cdg.org/technology/3g/cdma450.asp>; “*Conceptos CDMA450*”.
- <http://www.qualcomm.com.ProdTech/cdma/training/cdma25/m6/m6p26.html>; “*Red de Acceso*”.
- <http://www.cdg.org/technology/3g.asp> ; “*Evolución Sistemas IS-95*”.

-
- <http://www.conatel.gov.ec/> “*Convenios realizados por el FODETEL*”.
 - <http://www.supertel.gov.ec/> “*Estadísticas acerca de Telefonía Fija, Móvil, y acceso a Internet*”.
 - <http://www.inec.gov.ec/interna.asp>; “*Definición de zonas rurales*”.
 - FODETEL; “*Localidades rurales del Ecuador sin servicio de telefonía*”.
 - USBECK, Carlos; “*GSM/GPRS, CDMA/CDMA-2000*”, Noviembre 2002.
 - ZTE; “*Manuales Técnicos*”.

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPÍTULO I

Figura. 1. 1. Organismos de Regulación	3
Figura. 1. 2. Estructura del FODETEL.....	7
Figura. 1. 3. Telefonía Fija vs. Telefonía Móvil	16

CAPÍTULO II

Figura. 2. 1. Tecnologías de Acceso Múltiple.....	39
Figura. 2. 2. Celda	44
Figura. 2. 3. Reutilización de Frecuencias, cluster de 7 celdas	45
Figura. 2. 4. Interferencia de canal adyacente	46
Figura. 2. 5. Interferencia cocanal	47
Figura. 2. 6. Tipos de células según su tamaño	48
Figura. 2. 7. Tipos de células según su configuración de antena	48
Figura. 2. 8. División Celular	49
Figura. 2. 9. Elementos que conforman un sistema móvil celular.....	52
Figura. 2. 10. Actualización de la localización.....	53
Figura. 2. 11. Diagrama de Bloques de un sistema de comunicación CDMA	57
Figura. 2. 12. Codificación de fuente	58
Figura. 2. 13. Acceso Múltiple por División de Código CDMA.....	59
Figura. 2. 14. Generador de secuencias PN, mediante registros de desplazamiento.....	61
Figura. 2. 15. Generación de las funciones Walsh	62
Figura. 2. 16. Procedimiento de esparcimiento del espectro radioeléctrico	65
Figura. 2. 17. Recuperación de la señal.....	66
Figura. 2. 18. Procedimiento de Soft handoff	68
Figura. 2. 19. Arquitectura Básica de red IS-95A	69
Figura. 2. 20. Rehusos de frecuencia en CDMA igual a 1.....	69
Figura. 2. 21. Canales de Control	70
Figura. 2. 22. Canales Lógicos del enlace directo	71
Figura. 2. 23. Diagrama de bloques del canal de sinconismo	72
Figura. 2. 24. Canal Paging	73
Figura. 2. 25. Canal de tráfico	74
Figura. 2. 26. Canal de Acceso	75
Figura. 2. 27. Canal de Tráfico reverso	76
Figura. 2. 28. Modulación QPSK	76
Figura. 2. 29. Modulación OQPSK	77
Figura. 2. 30. Distribución de las frecuencias de los sistemas celulares	78

CAPITULO III

Figura. 3. 1. Evolución hacia CDMA 3G	83
Figura. 3. 2Dúplex por división de frecuencia FDD	84
Figura. 3. 3. Red cdma2000 simplificada	85
Figura. 3. 4. Arquitectura de la red de radio cdma2000	89
Figura. 3. 5. Diagrama de bloques de la red cdmaWLL.....	94
Figura. 3. 6. Topología de red cdmaWLL	95
Figura. 3. 7. Flujo de mensajes para una sesión de datos empaquetados	99
Figura. 3. 8Control de potencia en el acceso cdma2000	100
Figura. 3. 9. Control de potencia en el enlace reverso.....	101
Figura. 3. 10. Control de potencia en el enlace directo	102
Figura. 3. 12. Conexión del Terminal Inalámbrico Fijo.....	104
Figura. 3. 13. Hardware interno de la BTS.....	105
Figura. 3. 14. Estructura interna de la cabina de la BTS	106
Figura. 3. 15. Micro BTS para la banda de 450 MHz	106
Figura. 3. 16. Diagrama interno del BSC	107
Figura. 3. 17. Estructura de la cabina de la BSC.....	108
Figura. 3. 18. Controlador de la estación base.....	108
Figura. 3. 19. Topología de la red del PDSN	109
Figura. 3. 20. PDSS	109
Figura. 3. 21. Estructura del sistema AAA.....	110
Figura. 3. 22. Arquitectura del equipo HA	111
Figura. 3. 23. Equipo PDSS H100.....	112
Figura. 3. 24. Antena Yagui	112
Figura. 3. 25. Antena de Panel.....	113

CAPITULO IV

Figura. 4. 1. Distribución de las bandas de 450MHz por zonas.....	120
Figura. 4. 2 Distribución de usuarios por provincias.....	120
Figura. 4. 3. Cobertura de CDMA450 con respecto a las otras bandas.....	123
Figura. 4. 4 Canalización de bandas para 450MHz.....	125
Figura. 4. 5. Densidad Telefónica Fija en Ecuador	126
Figura. 4. 6. Distribución de Población, Líneas Telefónicas Instaladas y Densidad Telefónica Fija en Ecuador.....	127
Figura. 4. 7. Densidad Telefónica Fija provincias a las que provee servicio Andinatel ...	128
Figura. 4. 8. Penetración telefónica por provincia Pacifictel.....	129
Figura. 4. 9. Densidad de Telefonía Fija vs Telefonía Móvil.....	131
Figura. 4. 10. Población rural y urbano marginal respecto a la población urbana	134
Figura. 4. 11. Distribución total de líneas instaladas.....	134
Figura. 4. 12. Poblaciones rurales y urbanas del Ecuador.....	136
Figura. 4. 13. Ubicación de las provincias escogidas.....	140
Figura. 4. 14. Parroquias seleccionadas de Manabí.....	141
Figura. 4. 15. Región de Operación de CDMA	147
Figura. 4. 16. Altura Cero Pata de Pájaro obtenida en Radio Link	154
Figura. 4. 17. Altura Cero La Loma obtenida en Radio Link.....	154
Figura. 4. 18. Altura Cero Cabuyal obtenida en Radio Link.....	155
Figura. 4. 19. Diagrama de red del enlace	155

Figura. 4. 20. Diagramas de radiación antenas ubicadas en el Cerro Pata de Pájaro	156
Figura. 4. 21. Diagramas de radiación de las antenas ubicadas en el Cerro La Loma.....	156
Figura. 4. 22. Diagramas de radiación de las antenas ubicadas en el Cerro Cabuyal	157
Figura. 4. 23. Datos ingresados para el enlace Cerro Pata de Pájaro estación Fija.....	157
Figura. 4. 24. Cuadro de colores para determinar la intensidad de una señal detectable ..	158
Figura. 4. 25. Enlace Cerro Pata de pájaro orientada hacia la estación Fija.....	158
Figura. 4. 26. Enlace Cerro la Loma orientada hacia la estación Fija.....	159
Figura. 4. 27. Enlace Cerro Cabuyal orientada hacia la estación Fija.....	159
Figura. 4. 28. Cobertura de los tres cerros.....	160

INDICE DE TABLAS

CAPITULO II

Tabla. 2. 1. Tabla de la función Erlang B	43
Tabla. 2. 2. Efecto de la sectorización en el incremento de la densidad de tráfico	50
Tabla. 2. 3. Frecuencias Asignadas a los sistemas móviles.....	79
Tabla. 2. 4. Asignación de frecuencias para canales CDMA en la banda de 800MHz	79
Tabla. 2. 5. Asignación del espectro radioeléctrico para PCS.....	79
Tabla. 2. 6. Calculo de la frecuencia central para sistemas PCS.....	80

CAPITULO III

Tabla. 3. 1. Características de la evolución de los sistemas CDMA	92
Tabla. 3. 2. Características específicas de la tecnología CDMA2000.....	93
Tabla. 3. 3. Especificaciones del Terminal Fijo FWT.....	104
Tabla. 3. 4. Especificaciones de la BTS	106
Tabla. 3. 5. Especificaciones del BSC.....	108
Tabla. 3. 6. Especificaciones de la antena exterior.....	113
Tabla. 3. 7. Especificaciones de la antena de la RBS.....	113
Tabla. 3. 8. Costos Terminal Fijo	114
Tabla. 3. 9. Costos BSS	114
Tabla. 3. 10. Costos BTS	114
Tabla. 3. 11. Costos Antena RBS	114
Tabla. 3. 12. Costos BSC.....	114
Tabla. 3. 13. Costos HLR	115
Tabla. 3. 14. Costos PDSN	115
Tabla. 3. 15. Costos del sistema AAA.....	115
Tabla. 3. 16. Accesorios complementarios.....	115
Tabla. 3. 17. Cotización total para la implementación de un enlace con tecnología CDMA450	115

CAPITULO IV

Tabla. 4. 1. Canalización de bandas para 450MHz	125
Tabla. 4. 2. Concentración porcentual de algunos indicadores respecto al total nacional	127
Tabla. 4. 3. Densidad telefónica correspondiente a Andinatel	128
Tabla. 4. 4. Densidad telefónica correspondiente a Pacifictel.....	129
Tabla. 4. 5. Densidad Telefónica correspondiente a Etapa	129
Tabla. 4. 6. Densidad telefónica Linkotel a noviembre de 2005	130
Tabla. 4. 7. Densidad telefónica de las operadoras móviles.....	130
Tabla. 4. 8. Servicio de Acceso a Internet en Ecuador.....	132
Tabla. 4. 9. Densidad telefónica a nivel parroquial en el Ecuador	133
Tabla. 4. 10. Comparación del número de parroquias por provincia con servicio y sin servicio de telecomunicaciones.	135

Tabla. 4. 11. VAB referente al sector petrolero, correos y telecomunicaciones	137
Tabla. 4. 12. Índices considerados para la selección	138
Tabla. 4. 13. Provincias seleccionadas para la implementación de CDMA450 WLL	139
Tabla. 4. 14. Parroquias seleccionadas de Manabí	142
Tabla. 4. 15. Valores de dimensionamiento de la red.....	143
Tabla. 4. 16. Ubicación de las Radiobases	144
Tabla. 4. 17. Link Budget enlace reverso	150
Tabla. 4. 18. Link Budget enlace directo.....	150
Tabla. 4. 19. Distancia calculada a través del modelo de Okumura-Hata.....	152

GLOSARIO

A continuación se presentan los términos más importantes encontrados a lo largo de este estudio, los mismos que se relacionan con el Reglamento de Radiocomunicaciones, así como los sistemas móviles.

1x. Es el estándar de la tecnología para tercera generación, provee servicio de Internet a una alta velocidad 3G de 153 Kbps. El 1X fue el primer paso en la evolución CDMA2000 después de IS-95, proporciona capacidad mejorada en la red de la voz así como el acceso desde móvil a Internet. El 1X era conocido previamente como 1XRTT.

1x EV-DO. Evolution Data Optimized o datos de evolución optimizado, es una tecnología de datos inalámbrica de tercera generación, permite tener velocidades hasta de 2,4Mbps

1x EV-DV. Evolution Data and Voice o datos de voz y datos optimizados. Es una optimización de un mismo canal para ofrecer tanto voz como datos, ofrece la flexibilidad de dinámicamente balancear el tráfico de voz y datos, permitiendo el buen desempeño de dos funciones primordiales simultáneamente en un único aparato de radio frecuencia (RF)

AMPS. Advance Movil Phone Service, servicio de telefonía móvil avanzada, norma de Radiocomunicaciones Celulares de la primera generación desarrollada en EE.UU. Es un sistema analógico que utiliza diferentes portadoras de frecuencia para crear canales de comunicaciones en una técnica conocida como acceso múltiple por división de frecuencia (FDMA).

Acceso Universal. Es la facilidad que tiene la población de acceder a servicios de telecomunicaciones a una distancia aceptable con respecto a los hogares. El significado de distancia aceptable dependerá de los medios de transporte disponibles al usuario para acceder al servicio de telecomunicaciones.

Ancho de banda. El ancho de banda se refiere a la capacidad de transmisión de una red. El ancho de banda disponible depende de varias variables, como la velocidad de transmisión de datos entre los dispositivos en red, la carga, el número de usuarios y el tipo de dispositivo que conecta los PC a una red.

Atenuación. Pérdida de energía de la señal de comunicación.

Banda ancha. Es el término aplicado a la transmisión de datos de alta velocidad. Las tecnologías de banda ancha proporcionan conexiones a Internet más rápidas que los servicios de marcación tradicionales. Los servicios de banda ancha ofrecen acceso a Internet de alta velocidad a los hogares y empresas al tiempo que permiten que se pueda utilizar a la vez la línea telefónica para su uso tradicional, es decir, para hablar.

Bits por segundo (bps). Es una medida de velocidad de transmisión de datos a través de las líneas de comunicación. Indica el número de bits que se pueden enviar o recibir por segundo.

BTS. Base Transmitter Station Estación Base transmisora

Canal Radioeléctrico Unitario. Es la anchura de banda de frecuencias utilizada como unidad de medida que sirve de referencia para el cálculo de tarifas.

CDMA. (Acceso múltiple por división de códigos) es una tecnología móvil digital que utiliza técnicas de amplio espectro. CDMA no asigna una frecuencia específica a cada usuario. En su lugar, cada canal utiliza todo el espectro disponible. Las conversaciones individuales se codifican con una secuencia digital pseudoaleatoria.

Celda. Área geográfica en la cual una estación base Transmisora (BTS) tiene cobertura.

Coefficiente de corrección (b). Coeficiente de corrección determinado por el CONATEL en base a la zona geográfica y de la necesidad de desarrollo relativo del sector de telecomunicaciones.

Concesión de frecuencias. Autorización que da un organismo de regulación para que una estación radioeléctrica utilice una frecuencia o un canal radioeléctrico determinado en condiciones especificadas.

Conmutación por Circuitos. Sistema de conmutación en el que debe existir una ruta de circuito física dedicada entre el emisor y el receptor durante la duración de la "llamada". Se utiliza ampliamente en la red telefónica comercial.

Conmutación por paquetes. Método de networking en el cual los nodos comparten el ancho de banda entre sí enviando paquetes.

CONATEL. Consejo Nacional de Telecomunicaciones

CONARTEL. Consejo Nacional de Radiodifusión y Televisión.

Convergencia.

Costo de Interconexión Es el valor de las inversiones y gastos necesarios para interconectar las redes, a partir del punto de interconexión hacia la red del operador solicitante. Se incluyen, entre otros, los equipos de interconexión, los medios de acceso, los equipos, sistemas, soportes lógicos, dispositivos y órganos de conexión.

Decibel (dB). El decibel es una unidad relativa de una señal, tal como la potencia, voltaje, etc. Los logaritmos son muy usados debido a que la señal en decibeles (dB) puede ser fácilmente sumada o restada y también por la razón de que el oído humano responde naturalmente a niveles de señal en una forma aproximadamente logarítmica

Dbi. Este parámetro es utilizado para expresar la ganancia de la antena, es referido a una antena omnidireccional perfecta llamada isotrópica

DBm. Aunque los decibeles se usan generalmente con la ganancia de potencia, a veces se emplean para indicar el nivel de potencia respecto a 1 mW. En este caso, se usa el símbolo dBm, donde la m significa que la referencia es a un miliwatt.

$$P' = 10 \log(P/1mW)$$

donde,

P' = potencia en dBm

P = potencia en watts

DECT. Digital Enhanced Cordless Telecommunications, telecomunicaciones digitales inalámbricas avanzadas; estándar de tecnología de acceso inalámbrico

Derecho de Concesión por Uso de Frecuencias. Valor establecido para tener derechos al uso de espectro radioeléctrico a todos los sistemas y servicios, contemplados en el reglamento de telecomunicaciones.

Down Link . Enlace descendente

Erlang. Unidad de intensidad de tráfico

Estación radioeléctrica: Uno o más transmisores o receptores, o una combinación de transmisores o receptores, incluyendo las instalaciones accesorias, necesarias para asegurar un servicio de radiocomunicación, o servicio de radioastronomía en un lugar

Espectro Electromagnético. Es el conjunto de todas las frecuencias de emisión de los cuerpos de la naturaleza. Comprende un amplio rango que va desde ondas cortas (rayos gamma, rayos X), ondas medias o intermedias (luz visible), hasta ondas largas (las radiocomunicaciones actuales).

Explotación simplex. Modo de explotación que permite transmitir alternativamente, en uno u otro sentido de un mismo canal de telecomunicaciones

Explotación duplex. Modo de explotación que permite transmitir simultáneamente en ambos sentidos de un canal de telecomunicaciones

FCC. Federal Commission of Communication, commission federal de comunicaciones.

Frecuencia. Unidad que caracteriza a una onda radioeléctrica, su unidad son Hz

FWT (*Fixed Wireless Telephone*). Acceso inalámbrico fijo, término que describe un medio general de proporcionar la última "milla" de enlace a los abonados de la red de telecomunicaciones fija mediante tecnología radioeléctrica. El FWA suele instalarse en zonas rurales en las que el costo de los bucles locales cableados puede ser particularmente alto y en proyectos en los que resulta particularmente importante la rápida instalación de nuevas conexiones de abonados de telecomunicaciones.

GOS. Grade of Service (Grado de Servicio) parámetro de calidad que define el porcentaje del número de llamadas no completadas en un sistema telefónico.

GPRS. Servicio general de paquetes por radio (GPRS) es un estándar de comunicaciones inalámbricas que permite que paquetes de datos, como contenido de correo electrónico y de Internet, se desplacen por una red de teléfono inalámbrico e Internet. A menudo GPRS recibe la denominación de tecnología "2,5G"

GSM. (Sistema global para comunicaciones móviles) GSM es un estándar mundial para comunicaciones móviles digitales que utilizan el acceso múltiple por división de tiempo de banda estrecha TDMA para la voz y el servicio de mensajes cortos (SMS).

Interconexión. Es la vinculación de recursos físicos y soportes lógicos, incluidas las instalaciones esenciales necesarias, para permitir el interfuncionamiento de las redes y la interoperabilidad de servicios de telecomunicaciones.

Interferencia perjudicial. Interferencia que compromete el funcionamiento de un servicio de radionavegación o de otros servicios de seguridad, o que degrada gravemente, interrumpe repetidamente o impide el funcionamiento de un servicio de radiocomunicaciones de acuerdo al Reglamento de Radiocomunicaciones de la UIT.

Interoperabilidad de los Servicios: Es el correcto funcionamiento de los servicios que se prestan sobre dos redes interconectadas.

Interfaz. Elemento, que puede ser hardware o software, que facilita la interconexión entre dos o más dispositivos.

IP(Internet Protocol). Protocolo sobre el que se basa el encaminamiento de paquetes, método de comunicación utilizado en Internet.

Llamada Completada: Llamada fructuosa según las definiciones de la Unión Internacional de Telecomunicaciones UIT.

Máxima pérdida permitida. Parámetro para diseño de enlaces de radiocomunicaciones.

Modulación. La señal de datos se modula en una banda existente, es decir, distribuida a través de varias sub-bandas. Esto permite velocidades más rápidas de transferencia de datos y hace un uso muy eficaz del medio de la portadora.

Modem. Dispositivo que transforma una señal digital en analógica, y viceversa. La denominación típica es la modulador de modulaciones, lo cual permite realizar el circuito analógico-digital-analógico, pudiendo recibirse en terminales analógicos señales digitales, gracias a la conversión indicada.

NMT. Teléfono móvil nórdico, uno de los primeros sistemas comerciales de Radiocomunicaciones Celulares desarrollado conjuntamente por organizaciones de los países de Europa septentrional, Dinamarca, Finlandia, Islandia, Noruega y Suecia. Se presenta en dos variantes: NMT450, especificación original que opera en la banda de 450 MHz y es particularmente adecuada para cubrir amplias zonas con bajas densidades de utilización, y NMT900, presentado al final de la década de los ochenta y diseñado para dar soporte a dispositivos portátiles de mano en entornos urbanos.

Onda radioeléctrica. Señal de radio que posee una determinada frecuencia y otros parámetros físicos.

Operador. Es la persona jurídica pública, mixta o privada que es responsable de la gestión de un servicio de telecomunicaciones en virtud de autorización, licencia o concesión, o por ministerio de la ley. Esta Resolución se refiere indistintamente al operador y al concesionario.

Portadora. Señal Radioeléctrica que contiene la información a ser transmitida

Potencia. Parámetro que caracteriza a un transmiso se expresa en Watts

Path Loss. Pérdidas en el trayecto de una señal de radio

Radio. Término general que se aplica al empleo de las ondas radioeléctricas

RDSI (*ISDN Integrated Services Digital Network*) Red digital de servicios integrados, método de acceso a una red de telecomunicaciones totalmente digital que funciona por hilos de cobre. Hay dos tipos de RDSI: a velocidad básica y a velocidad primaria. La RDSI a velocidad básica proporciona a los abonados dos canales de información a 64 kbps y un canal de control a 16 kbps. La velocidad primaria proporciona a los usuarios 30 canales de información a 64 kbps y un canal de control a 64 kbps.

Reverse Link. Enlace ascendente (MS-BTS).

Router (Encaminador). Dispositivo, o en algunos casos soporte informático de un computador, que determina el punto de red siguiente al que debe remitirse un paquete de camino a su destino. Normalmente un paquete viajará a través de cierto número de puntos de red con encaminadores antes de llegar a su destino.

Sub banda. Segmento comprendido entre dos frecuencias dentro de una banda determinada.

Servicio Móvil Avanzado(SMA). Es un servicio final de telecomunicaciones del Servicio Móvil Terrestre, que permite toda transmisión, emisión y recepción de signos, señales, escritos, imágenes, sonidos, voz, datos o información de cualquier naturaleza.

Servicio Universal. Se entiende por Servicio Universal aquel que pretende llevar el acceso generalizado a los hogares de los servicios básicos de telecomunicaciones, iniciando con el servicio de telefonía y posteriormente integrando otros servicios a medida que los avances tecnológicos y la disponibilidad de recursos lo permitan.

Operador Rural. Persona natural o jurídica legalmente habilitada para prestar uno o más servicios únicamente en áreas rurales: telefonía fija local, larga distancia nacional, larga distancia internacional, telefonía pública, servicios portadores y servicios de valor agregado.

Paquete. Segmento de un mensaje transmitido a través de una red de conmutación de paquetes. Una de las características claves de un paquete es que contiene la dirección de destino además de los datos.

Roaming. Capacidad para que el abonado pueda utilizar el móvil tanto para llamadas entrantes como salientes en cualquier otra red (en el mismo país o en otro) que haya formalizado un acuerdo comercial de itinerancia con la red propia de dicho abonado.

SMS o mensajes de texto. Servicio de mensajes breves. Servicio que permite a los usuarios de teléfono móvil enviar y recibir mensajes de texto en sus teléfonos.

Telecentro Polivalente. Los Telecentros ofrecen servicios básicos de telecomunicaciones, en particular el acceso a Internet y otros servicios de información, así como acceso a equipos y programas informáticos.

TDMA. Acceso múltiple por división de tiempo. Denominación genérica para un tipo de tecnología de telefonía móvil digital.

Tecnologías de la Comunicación y la Información (TIC). Las TIC son sistemas tecnológicos que reciben, manipulan y procesan información, optimizando el manejo de la misma y el desarrollo de la tecnología, unen la informática, información y comunicación, logrando así la convergencia de las tecnologías.

UIT. La unión Internacional de Telecomunicaciones fue establecida siglo pasado como una unión en donde los gobiernos y el sector privado podría trabajar junta para coordinar la operación de las redes y de los servicios de telecomunicación y para avanzar el desarrollo de la tecnología de las comunicaciones. Mientras que la organización sigue siendo relativamente desconocida al público en general, el trabajo de ITU ha ayudado a crear una red de comunicaciones global que ahora integra una gama enorme de tecnologías.

Última Milla. Es el enlace entre un nodo de distribuciones de la red y el usuario final.

Up Link. Enlace descendente (MS-BTS)

Usuario. Es la persona natural o jurídica a quien se le ha concedido la autorización o licencia para el uso de frecuencias o canales radioeléctricos.

Velocidad de transmisión. Capacidad de elementos binarios, bloques o caracteres, dependiendo del tipo de transmisión, transferidos en una unidad de tiempo entre dos o más puntos.

WLL (*Wireless Local Loop*). Bucle local inalámbrico

Zona de Concesión. Área geográfica determinada, en la cual un concesionario de frecuencias puede operar el sistema contemplado en el respectivo título habilitante. La Zona de concesión se define en base de los informes técnicos que emite la Secretaría Nacional de Telecomunicaciones, tomando en cuenta la información y requisitos remitidos por el solicitante, de acuerdo a la reglamentación que aplique.

Sangolquí

Elaborado por:

Sonia Isabel Diaz Muñoz

Tnte. Crnl. E. M. Xavier Martínez
DECANO DE LA FACULTAD

Dr. Jorge Carvajal
SECRETARIO ACADÉMICO