

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE COMUNICACIÓN MOVIL
CELULAR EN LA BANDA EMERGENTE (400 - 450 MHz), EN
EL MUNICIPIO DE SILVIA, CAUCA: UNA NUEVA OPCION DE
CONECTIVIDAD EN COLOMBIA**



**CARLOS ALBERTO CAMPOS VILLA
CESAR ERNESTO RODRIGUEZ CALVACHE**

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE INGENIERIA ELECTRONICA Y TELECOMUNICACIONES
DEPARTAMENTO DE TELECOMUNICACIONES
POPAYAN
2006**

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE COMUNICACIÓN MOVIL
CELULAR EN LA BANDA EMERGENTE (400 - 450 MHz), EN
EL MUNICIPIO DE SILVIA, CAUCA: UNA NUEVA OPCION DE
CONECTIVIDAD EN COLOMBIA**



**CARLOS ALBERTO CAMPOS VILLA
CESAR ERNESTO RODRIGUEZ CALVACHE**

**Monografía presentada como requisito para obtener el título de Ingeniero en
Electrónica y Telecomunicaciones**

**Director:
Ing. Alfredo Montenegro**

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE INGENIERIA ELECTRONICA Y TELECOMUNICACIONES
DEPARTAMENTO DE TELECOMUNICACIONES
POPAYAN
2006**

TABLA DE CONTENIDO

Capítulo 1

1. TELEFONIA MOVIL CELULAR EN UNA BANDA EMERGENTE Pág. 1.

1.1. Antecedentes de la Telefonía Móvil Celular en la Banda de 450 MHz.....	Pág. 2
1.1.2. Examen y prueba de redes IMT-MC-450	Pág. 3
1.2. Telefonía Móvil Celular en Colombia.....	Pág. 4
1.2.1. Situación de la Telefonía Móvil Celular en una Banda de 450 MHz en Colombia.....	Pág. 6
1.3. Panorama Mundial.....	Pág. 7
1.3.1. Grandes Alianzas a Nivel Mundial.....	Pág. 8
1.3.2. Suramérica.....	Pág. 9
1.4. Escalabilidad.....	Pág. 9
1.5. Servicios y aplicaciones.....	Pág. 10
1.6. Tecnologías para Zonas Rurales y Suburbanas.....	Pág. 13
1.6.1. Beneficios para las Zonas Rurales y Suburbanas.....	Pág. 15
1.7. Directrices para el Diseño de Tecnologías de la Información y la Comunicación para zonas rurales de países en desarrollo.....	Pág. 19

Capítulo 2

2. TECNOLOGIAS PARA LA BANDA DE (400-500) MHz..... 23

2.1. Sistema Global para Comunicaciones Móviles GSM.....	24
2.1.1. Aspectos Técnicos GSM.....	24
2.1.1.1. Bandas de Frecuencia para GSM.....	24
2.1.1.2. Características Principales de GSM.....	24
2.1.2. Estandarización GPRS y EDGE.....	26
2.1.2.1. GPRS.....	26
2.1.2.2. EDGE.....	26

2.1.3. Generalidades GSM.....	27
2.2. Acceso Múltiple Por División De Código CDMA.....	29
2.2.1. Aspectos técnicos de CDMA.....	30
2.2.1.1. <i>Bandas de Frecuencia para CDMA</i>	30
2.2.1.2. <i>Características Principales de CDMA</i>	31
2.2.2. Generalidades CDMA.....	32
2.2.3. Camino de migración para los operadores CDMA.....	33
2.2.3.1. <i>CDMAOne/IS-95-A</i>	33
2.2.3.2. <i>CDMAOne/IS-95-B</i>	34
2.2.3.3. <i>CDMA2000</i>	34
2.2.3.4. <i>CDMA2000 1x</i>	34
2.2.3.5. <i>CDMA2000 1x EV-DO</i>	34
2.3. Diferencias de una Red de telefonía Móvil Celular en una Banda de 800 MHz o Mayor con Bandas de 450 MHz.....	35
2.4. CDMA vs. GSM.....	36
2.4.1. Comparación en Cuanto a Cobertura.....	37
2.4.2. Comparación en cuanto a la calidad de servicio.....	38
2.4.2.1. <i>Vocoders</i>	40
2.5. CDMA y GSM en una banda de (400- 500) MHz.....	43
2.5.1. GSM400.....	43
2.5.1.1. <i>Cobertura</i>	46
2.5.1.2. <i>Capacidad</i>	47
2.5.1.3. <i>Características Técnicas</i>	48
2.5.2. CDMA450.....	48
2.5.2.1. <i>Cobertura</i>	50
2.5.2.2. <i>Comportamiento radioeléctrico</i>	50
2.5.2.3. <i>Capacidad</i>	51
2.5.2.4. <i>Calidad vocal</i>	51
2.5.2.5. <i>Compatibilidad RF</i>	52
2.5.2.6. <i>Servicios del bucle local inalámbrico</i>	52
2.5.2.7. <i>Soporte de antena inteligente</i>	52
2.5.2.8. <i>Seguridad y prevención del fraude</i>	53
2.5.2.9. <i>Características Generales</i>	53
2.6. Desarrollo para CDMA450.....	54
2.6.1. Chipsets y Soluciones de Software para CDMA450.....	54
2.6.2. Los Componentes de Radiofrecuencia de CDMA450.....	55

2.6.3. Componentes de Banda Base CDMA450 (Modém de Estación Móvil – MSM).....	55
2.6.4. Aplicaciones Habilitadas.....	56
2.7. Algunas ventajas y beneficios de CDMA450 con respecto a GSM400.....	58
2.8. Conclusión CDMA450 vs. GSM400.....	61

Capítulo 3

3. DISEÑO DE UNA RED DE MOVIL CELULAR CDMA450, EN EL MUNICIPIO DE SILVIA, CAUCA.....	64
3.1. Requerimiento.....	64
3.2. Criterios para el diseño de la red.....	67
3.3. Estudio de Población.....	70
3.4. Métodos de Planeación.....	72
3.4.1. Planeación de Trafico TOP-DOWN.....	73
3.4.2. Planeación de Trafico BOTTOM-UP.....	74
3.4.3. Método escogido de Planeación de Trafico.....	75
3.5. Zona de Cobertura.....	75
3.5.1. Propagación.....	84
3.5.2. Parámetros utilizados en el cálculo de propagación.....	85
3.5.2.1. <i>Cálculo de la potencia de transmisión</i>	86
3.5.2.2. <i>Proceso de cálculo</i>	86
3.5.2.3. <i>Campo medio necesario en la Estación Móvil</i>	89
3.5.2.4. <i>Campo medio necesario en la Estación Base</i>	91
3.5.2.5. <i>Cálculo de cobertura</i>	92
3.5.2.6. <i>Cálculo de la potencia radiada aparente P.R.A.</i>	92
3.5.2.7. <i>Cobertura de la Estación Base</i>	94
3.5.2.8. <i>Cobertura de la Estación Móvil</i>	96
3.5.3. Antenas.....	97
3.6. Análisis de tráfico.....	98
3.6.1. Cálculos de la red.....	101
3.6.1.1. <i>Cálculo de los codificadores de voz</i>	101
3.6.1.2. <i>Cálculo de la cantidad de BTS</i>	102
3.6.1.3. <i>Cálculo de la cantidad de BSC</i>	102
3.7.2. Configuración.....	103
3.7.2.1. <i>Configuración del BSC</i>	103
3.8. Enlaces entre los elementos de la red.....	104

3.8.1. ENLACES B.....	104
3.8.1.1. <i>Enlace entre la BTS y el BSC</i>	104
3.8.2. ENLACES G.....	104
3.8.3. ENLACES M.....	104
3.8.3.1. <i>Enlaces entre el BSC y el MSC</i>	104
3.9. Equipos a emplear en el diseño.....	105

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 Telefonía fija, móvil y acceso a Internet por cada 100 habitantes en el mundo 1998 – 2003.

Figura 1.2 Crecimiento en millones del número de abonados móviles anualmente.

Figura 1.3a. Espectro Radio eléctrico de los operadores de Comcel y Movistar.

Figura 1.3b. Espectro Radio eléctrico para el operador Colombia Móvil.

Figura 1.4. Asignación de Bandas en el espectro Radio Eléctrico.

Figura 1.5. Desarrollo sucesivo sobre 20 países en la banda de 450 Mhz

Figura 1.6. Ejemplos de aplicaciones de usuario de tercera generación que se puede pertenecer a una red de telefonía móvil celular en una banda de 450Mhz.

Figura 1.7. Modelo ideal de las telecomunicaciones para las zonas rurales, suburbanas y urbanas.

Figura 1.8. Crecimiento del PIB Nacional y PIB Telecomunicaciones.

Figura 1.9. Porcentaje de Telecomunicaciones con respecto al PIB Nacional.

Figura 2.1. Técnicas de acceso FDMA, TDMA y CDMA.

Figura 2.2. Proceso Speechmaking del vocoder.

Figura 2.3. Alcance comparativo de GSM 400/900/1900.

Figura 2.4. Especificaciones técnicas de GSM400 en la frecuencia de trabajo.

Figura 2.5. Cobertura CDMA450.

Figura 2.6. Relación señal Acústica/Ruido.

Figura 2.7. Diagrama en Bloque del Chipset CDMA450.

Figura 3.1 Mapa Municipio de Silvia.

Figura 3.2 Planificación de redes

Figura 3.3 División Mundial por Regiones ITU.

Figura 3.4 Mapa de los Establecimientos de Salud en el Municipio de Silvia.

Figura 3.5 Vista de Silvia desde el cerro el Tranal.

Figura 3.6 Vista desde el cerro el Tranal hacia Popayán

Figura 3.7 Vista desde el cerro el Tranal de la repetidora de EHAS

Figura 3.8 Vista de Guambia desde el cerro el Tranal

Figura 3.9 Variación de la calidad de recepción en una estación móvil

Figura 3.10 Variación de la calidad de recepción en una estación base Degradación (dB) vs. Frecuencia (MHz)

Figura 3.11. Conexión del transmisor y la antena

Figura 3.12. Características Técnicas de la Antena

Figura 3.13. Patrón de radiación de la Antena

Figura 3.14 Enlace B

Figura 3.15 Arquitectura General de la Red

Figura 3.16 Arquitectura BS

Figura 3.17 Arquitectura BSC

Figura 3.18. Ubicación de equipos

LISTA DE TABLAS

Tabla 1.1 Necesidades de las comunidades rurales

Tabla 1.2 Tecnologías con sus evoluciones que presentan relación con las telecomunicaciones en las zonas rurales

Tabla 2.1 Características básicas para modos Classic y Compact

Tabla 2.2 Área de cobertura y radio de la celda en CDMA y GSM/TDMA en 800 MHz

Tabla 2.3. Comparación en cuanto a capacidad de las tecnologías CDMA, GSM, TDMA y AMPS

Tabla 2.4. Detalles técnicos GSM400

Tabla 2.5. Plan de frecuencias CDMA450

Tabla 2.6. Capacidad de CDMA450 en Erlangs

Tabla 3.1. Coordenadas Geográficas de los establecimientos de salud

Tabla 3.2. Magellan MAP 330 gps Receiver Equipo utilizado para la ubicación geográfica de la Estación Base

Tabla 3.3 Características de los elementos utilizados en el diseño

Tabla 3.4 Parámetros para calcular la desviación gaussiana

Tabla 3.5 Capacidad de CDMA450

INTRODUCCION

Actualmente la telefonía móvil celular en Colombia cuenta con cobertura en las áreas urbanas pero en algunas de las troncales vehiculares más importantes de Colombia con un cubrimiento deficiente.

Con el firme propósito de mejorar y aumentar la cobertura y calidad de los servicios los operadores actualmente trabajan en la mejora de estos, con el fin de impulsar y lograr aumentar sus dividendos. Por otro lado las políticas gubernamentales para el desarrollo del sector de telecomunicaciones en los últimos años han estado dirigidas a aumentar el cubrimiento, la modernización de la infraestructura y la diversificación de la oferta de servicios, pero para lograr este objetivo en las zonas rurales y sub-urbanas resulta más difícil que para las zonas urbanas de gran densidad poblacional, generando así un desarrollo desbalanceado en estas zonas.

La diferencia se basa en la enorme grieta económica que estas zonas presentan. Las áreas rurales y remotas presentan las siguientes características: escasez o ausencia de servicios públicos tales como suministro eléctrico, acueductos, poco acceso a carreteras, transporte irregular y sin dejar de un lado el histórico conflicto armado por el que se esta atravesando, sobretodo en estas regiones. Estos sitios suelen caracterizarse generalmente, por una baja densidad de población y grandes distancias entre las zonas de asentamiento, las condiciones geográficas inhóspitas, desfavorables y de difícil acceso.

Otro de los grandes problemas de Colombia es la conectividad: Los servicios satelitales son de costos elevados, el cobre no llega a todos lados, incluso hay zonas a las que ni siquiera llega el servicio de energía eléctrica.

Estas características no dejan que el desarrollo del país sea paralelo; el desarrollo se presenta en las ciudades capitales y centros urbanos industrializados, donde solo se presenta la cobertura de los operadores de telefonía móvil celular y de otros servicios de telecomunicaciones.

Solo con participación e inversión del estado, se puede llegar a los diferentes lugares aislados por la topología geográfica, extensiones territoriales y olvidadas por los diferentes gremios económicos y sectores de telecomunicación.

“En reconocimiento a esta gran diferencia, un número creciente de reguladores latinoamericanos están implementando proyectos piloto, ensayando iniciativas de acceso universal orientadas a extender la cobertura de redes celulares a zonas rurales y semi-urbanas con el objetivo de reducir la brecha digital en sus países. Estas iniciativas están transformando y desafiando concepciones tradicionales del papel de los programas de acceso universal y están posicionando a teléfonos celulares y/o inalámbricos como uno de los instrumentos más importantes para la reducción de la brecha digital, como fue reconocido recientemente por la revista *The Economist*” [1].

Como se viene mencionando la evolución de las telecomunicaciones en el país se presenta en las ciudades capitales y centros urbanos más importantes, generando una brecha bastante significativa entre las áreas urbanas y rurales, por ejemplo, mientras que las principales 23 ciudades del país, con el 46% de la población, concentraban el 77% de las líneas telefónicas, el resto del país, que absorbía el 54% de la población, tan sólo tenía el 23% de las líneas telefónicas, entonces no se está presentando un desarrollo lineal en el país.

Los objetivos básicos a los que deben contribuir los servicios de telecomunicaciones son impulsar y sostener el desarrollo estructural y económico, minimizar los inconvenientes antes mencionados y, en general, mejorar la calidad de vida en las zonas rurales y

remotas. Lo importante es ayudar a generar un proceso de desarrollo paralelo entre estos dos sectores (urbano y rural).

Aquí juega un papel importante las diferentes estrategias que se tengan poder cerrar esta grieta tecnológica y económica en el país; el sector de las telecomunicaciones en Colombia ha entrado en una nueva fase de recuperación y crecimiento, que está cimentada en el desarrollo de planes de negocios orientados a la creación de valor y rentabilidad, adoptando nuevas tecnologías que ayuden al desarrollo del país.

El presente proyecto describe una nueva opción, diferente a las presentadas actualmente en el país con el firme propósito de brindar conectividad a nivel rural y con el sector urbano, no solo en forma de telefonía móvil celular, sino también en telefonía fija inalámbrica. Lo más llamativo del proyecto que además de manejar voz también tiene la capacidad de manejar datos, en la banda de 400 - 450 MHz. (Servicios de tercera generación y conexión a Internet entre otros) con tecnología al alcance de cualquier operador o empresa, que desee invertir en Colombia, esta es una tecnología que esta incursionando en Suramérica, el caribe, Asia y Europa Oriental, con gran aceptación y buenos resultados.

Las tecnologías que se proponen son de conocimiento mundial (GSM y CDMA), actualmente se está trabajando en diferentes proyectos de investigación por diferentes multinacionales en telecomunicaciones; en muchos países como Argentina, Brasil, China, Rusia (Siberia), entre otros. En la banda de los 450 MHz se tiene la capacidad y la facilidad para cubrir zonas geográficas de gran extensión, y de geografía de difícil acceso (topografía muy quebrada y montañosa).

En el primer capítulo se comentan de forma general, las principales características de la telefonía móvil celular para zonas rurales y suburbanas, incluyendo su incidencia en el país y los servicios que se pueden ofrecer a los usuarios.

En el segundo capítulo se tratan brevemente los aspectos correspondientes a las tendencias mundiales existentes como alternativa de 3G en las bandas de 450 MHz.

En el tercer capítulo se mencionan las características funcionales de cada uno de los elementos que conforman la arquitectura de un sistema de tercera generación que utiliza

CDMA450 como interfaz de radio y su respectivo análisis y diseño de la red de telefonía móvil celular para Silvia con los resultados correspondientes al diseño teórico de la red.

Finalmente en el anexo A se incluye mayor información Socio económica de la zona para complementar la información donde se realizara el diseño teórico y en el anexo B se realiza un estudio detallado de la normatividad mundial y su situación legal en Colombia.

1. TELEFONIA MOVIL CELULAR EN UNA BANDA EMERGENTE

La evolución tecnológica tiene un proceso evolutivo muy rápido. La extendida adopción de la red de Internet y de la telefonía móvil celular por el mercado, la creciente competencia entre proveedores de equipos y la necesidad de generar economías de escala en el sector de manufactura de telecomunicaciones, se han unido para reducir enormemente sus costos y acelerar la expansión de la tecnología.

“El rápido incremento de los abonados de la telefonía móvil celular en todo el mundo desde 1991, de menos de 16 millones a 1,300 millones en el año 2003 es una muestra indiscutible de ello. Este crecimiento masivo del mercado móvil celular a nivel mundial a tasas anuales de 44,5% ha hecho posible que los ingresos en este mercado actualmente representen cerca del 36% de los ingresos globales provenientes de los servicios de telecomunicación en comparación con el 40% de las redes fijas” [2], teniendo en cuenta que estas tendencias incluyen a Colombia y su participación en el mercado de las Telecomunicaciones. En la siguiente figura se muestra las tendencias a nivel mundial de las telefonías móvil y fija, incluyendo Internet.

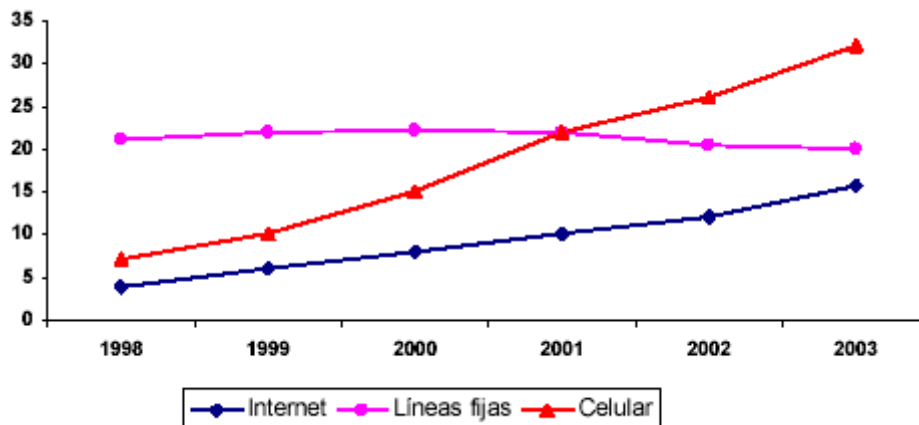


Figura 1.1 Telefonía fija, móvil y acceso a Internet por cada 100 habitantes en el mundo 1998 – 2003.

Fuente: http://www.economist.com/opinion/displayStory.cfm?story_id=3742817

El servicio de telefonía móvil celular, comenzó como un lujo costoso para los usuarios comerciales y personas solvente, *ahora se ha convertido en un producto de consumo masivo al alcance de todos en los lugares donde existe la red*, de aquí lo importante es, la promoción de inversión por parte del gobierno Colombiano o diferentes empresas en telecomunicaciones orientadas, a la expansión de redes celulares hacia áreas rurales y semi-urbanas, siendo esto una opción importante y de gran acogida en el ámbito suramericano y mundial (la telefonía móvil celular en la banda que comprende 400 – 450MHz).

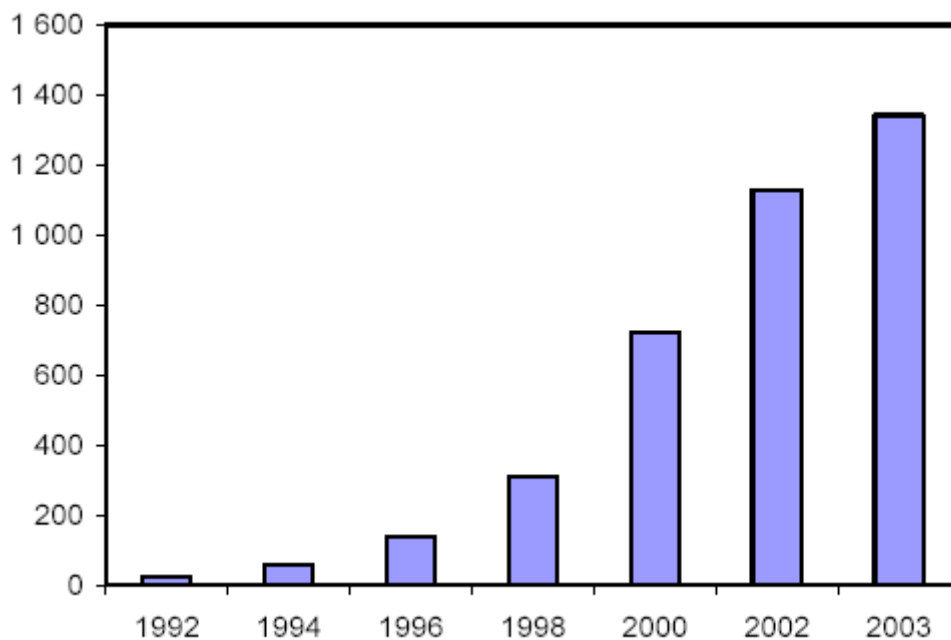


Figura 1.2 Crecimiento en millones del número de abonados móviles anualmente.
Fuente: http://www.economist.com/opinion/displayStory.cfm?story_id=3742817

Es un hecho que la telefonía móvil crece más y más en Colombia y en todo el mundo, donde muy pronto empezará a abarcar las zonas rurales, comenzando aquí en Suramérica con Brasil y Argentina, como también en Colombia.

1.1. Antecedentes de la Telefonía Móvil Celular en la Banda de 450 MHz

El principio es el sistema de telefonía móvil nórdico NMT [3] siendo una norma para las redes celulares móviles analógicas de primera generación que empezó a aplicarse por primera vez en 1981 en la península Escandinava, en la banda de 450 MHz y posteriormente en la banda 900 MHz, tras lo cual se implementó en otros doce países de

Europa Oriental y la CEI, incluida la Federación de Rusia, en la banda de frecuencias de 450 MHz. El número de usuarios de NMT450 llegó a un millón en el país, pero se encuentra reduciéndose en la actualidad (Prácticamente todas las redes NMT450 operan en la banda de frecuencias 450-470 MHz).

En 1998 la Plenaria de los firmantes del Memorándum de Entendimiento NMT identificó la necesidad de contar con tecnología digital para permitir la migración en el futuro de las redes NMT. Tras examinar tres opciones tecnológicas de digitalización de los sistemas NMT, en 1999 se seleccionaron dos tecnologías para hacer evolucionar las redes NMT450, a saber: GSM400 y CDMA450. *“Tras el despliegue de dos redes experimentales GSM400, los fabricantes que habían apoyado este trayecto de evolución renunciaron a él”* [4].

Las pruebas que realizaron en relación con el sistema CDMA450 (también conocido como IMT-MC-450 o Clase de Banda 5 de multiportadora⁸⁴ CDMA IMT-2000) entre octubre de 2000 y diciembre de 2002 en Rusia, Hungría, Rumania, Suecia, Georgia y Belarús, garantizaron el éxito de sus lanzamientos comerciales en Rumania, Belarús y, ulteriormente, en Rusia.

1.1.2. Examen y prueba de redes IMT-MC-450

“Para responder a las peticiones cursadas por los principales operadores IMT450, se realizó un estudio sobre la utilización eficaz de la banda de frecuencias 450 MHz por las tecnologías digitales para permitir una migración continua de las redes NMT450. En el estudio se examinaban las opciones y repercusiones de la evolución de las redes NMT y se analizaban la compatibilidad electromagnética y la compatibilidad en el contexto de la tecnología CDMA. El estudio, demostró que la tecnología IMT-MC-450 es una solución eficaz para hacer evolucionar las redes NMT450.

Para traducir a la práctica los resultados de este estudio teórico, Moscow Cellular Communications (diciembre de 2001) y posteriormente Delta Telecom de San Petersburgo desplegaron redes experimentales. La idea era probar la cobertura y capacidad del sistema, las capacidades de datos en paquetes de gran velocidad, la

compatibilidad electromagnética/compatibilidad con la red NMT450 y otros usuarios de la banda y de bandas adyacentes, y la capacidad de itinerancia (capacidad Roaming)” [4].

1.2. Telefonía Móvil Celular en Colombia.

En 1994 Colombia entera estuvo a la expectativa de una de las licitaciones más importantes en los canales de la comunicación, la adjudicación de la telefonía móvil celular. El país fue dividido en tres zonas de operación del servicio: Bogotá y la Región Oriental; Medellín y Cali y el Occidente y la Costa Atlántica.

Para garantizar la competencia, el Gobierno estableció dos bandas, o segmentos de espectro electromagnético que se asignan para un servicio específico. A las empresas privadas se les adjudicó la banda “B” y la banda “A” para las empresas mixtas.

A la fecha, Colombia cuenta con tres operadores móviles, los cuales operan en todo el territorio Nacional. En la banda A “COMCEL”, en la banda B “TELEFÓNICA”, y “COLOMBIA MÓVIL” como operador de PCS. A diciembre 31 de 2004 (ultimo estudio estadístico del tema), el número de suscriptores de telefonía móvil a nivel nacional creció aproximadamente en 68.1% pasando de un total de 6.186.206 a 10.400.578 suscriptores [5].

En la siguiente figura se muestra como esta distribuida el espectro radio eléctrico en Colombia indicando donde están ubicados los operadores actuales de telefonía móvil celular.

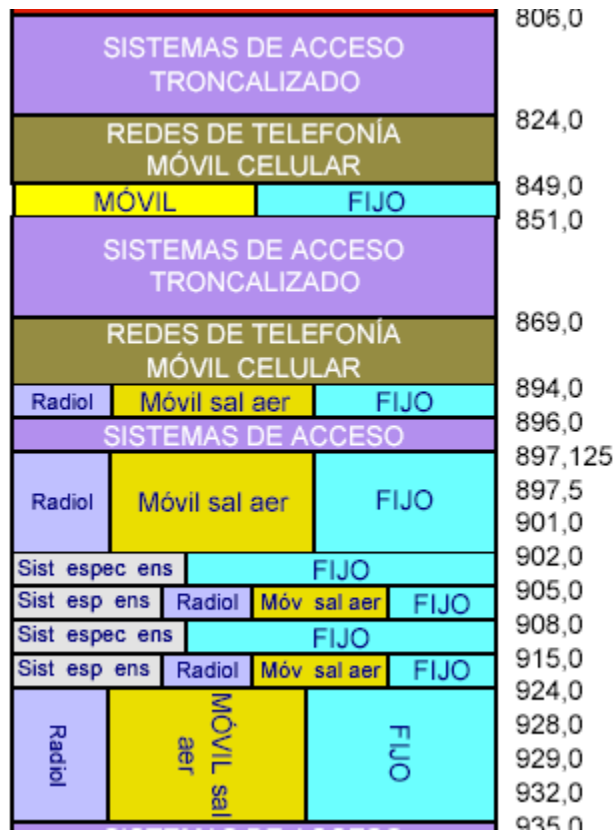


Figura 1.3a. Espectro Radio eléctrico de los operadores de Comcel y Movistar. (fuente: *ministerio de comunicaciones*) [5]

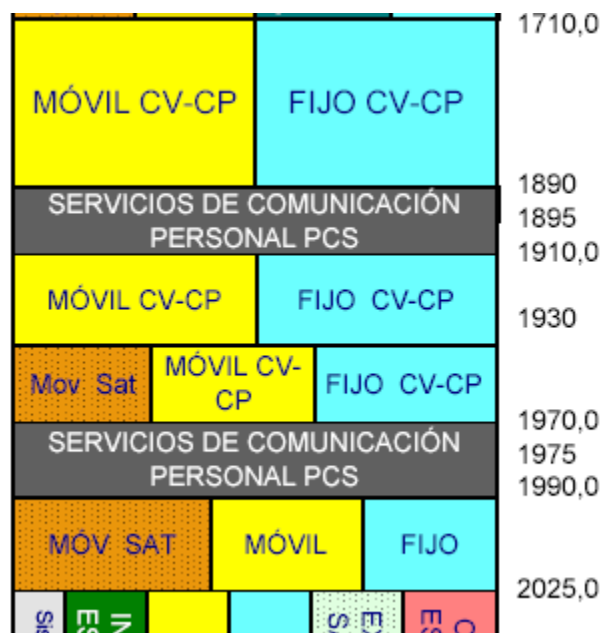


Figura 1.3b. Espectro Radio eléctrico para el operador Colombia Móvil. (Fuente: *ministerio de comunicaciones*) [5]

1.2.1. Situación de la Telefonía Móvil Celular en una Banda de 450 MHz en Colombia.

En la actualidad Colombia tiene una distribución del espectro radio eléctrico ya organizada en la banda de (400-500)MHz. Esto le permite la opción de implementar una red de telefonía móvil en esta banda según como esta distribuida; como se muestra en la siguiente figura los recuadros amarillos indican espacios asignados para telefonía móvil celular y los recuadros azules cielo están asignados para redes fijas inalámbricas.

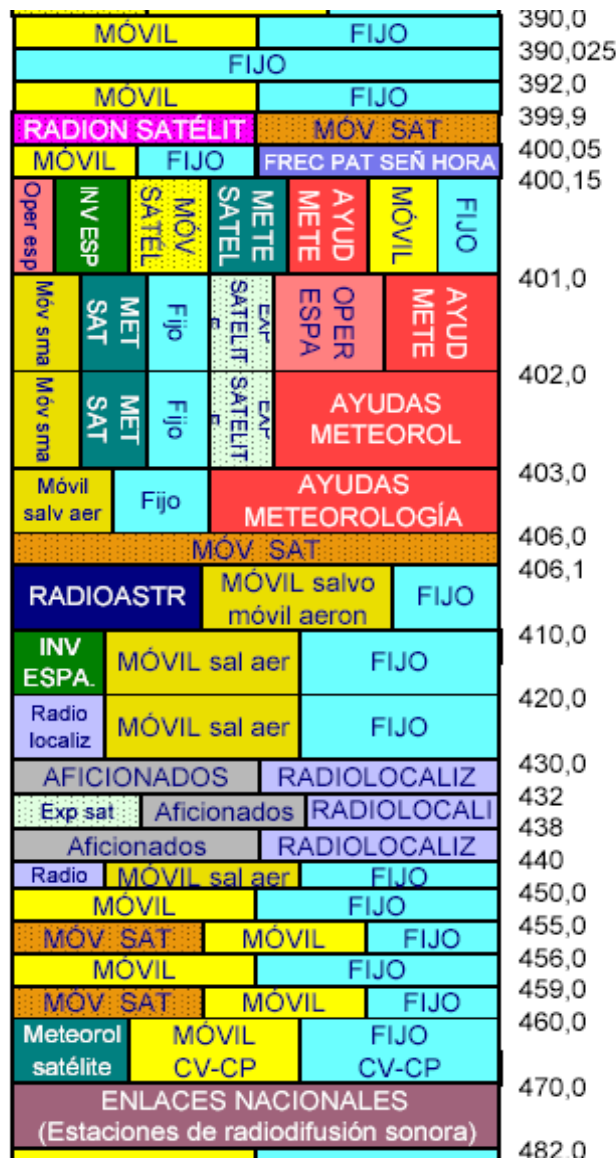


Figura 1.4. Asignación de Bandas en el espectro Radio Eléctrico. (Fuente: *ministerio de comunicaciones*) [6]

Según el proyecto de ley que estipula el manejo del espectro radio eléctrico, las bandas asignadas tienen a título primario el manejo de telefonía móvil celular y telefonía fija inalámbrica¹. La banda que va de 400 MHz a 500 Mhz no está utilizada para dichos fines, presentando una facilidad para la implementación de una red de telefonía móvil celular en dicha banda.

1.3. Panorama Mundial.

En el mundo se presentan varios países que están trabajando simultáneamente en investigación o en redes ya implementadas en la banda de 450 Mhz, como se muestra en la siguiente figura

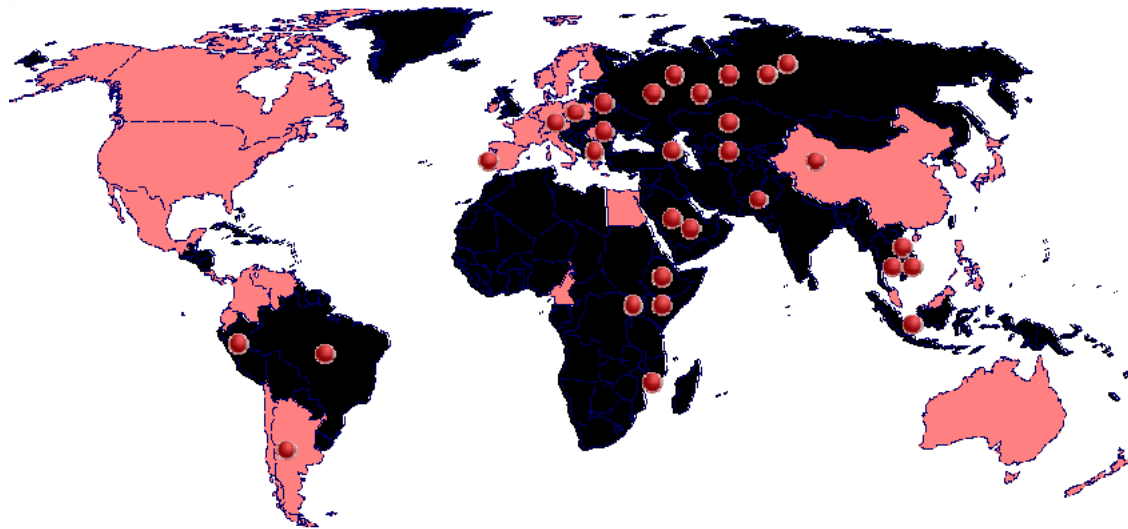


Figura 1.5. Desarrollo sucesivo sobre 20 países en la banda de 450 Mhz.

Fuente: www.itu.int/itudoc/gs/subscirc/itu

1 CLM 41. Las bandas 414 - 420 MHz y 424 - 429 MHz se utilizan para el servicio de telefonía móvil automática pública (Zonas Sabana de Bogotá, Valle del Cauca y Antioquia).

CLM 43. En virtud del número S5.293, la banda 470 - 512 MHz se atribuye a los servicios fijo y móvil a título primario.

S5.293 Categoría de servicio diferente: en Canadá, Chile, Colombia, Cuba, Estados Unidos, Guyana, Honduras, Jamaica, México, Panamá y Perú, la atribución de las bandas 470-512 MHz y 614-806 MHz a los servicios fijo y móvil es a título primario, a reserva de obtener el acuerdo indicado en el número **S9.21**. En Argentina y Ecuador, la banda 470-512 MHz está atribuida a título primario a los servicios fijo y móvil (véase el número **S5.33**), sujeto a la obtención de un acuerdo con arreglo al número **S9.21**.

Se mencionan algunas empresas de índole mundial en las telecomunicaciones que actualmente están trabajando e impulsando este tipo de redes (*Telefonía móvil celular en una banda de 450 MHz*): Lucent Technologies, Huawei, ZTE Corporation, Nortel, Qualcomm, y algunos operadores nacionales de los diferentes países que están trabajando ese tipo de tecnología, como el bloque oriental en Europa entre otros, donde los resultados han sido satisfactorios generando mayor investigación en el tema.

1.3.1. Grandes Alianzas a Nivel Mundial

Hoy se tiene redes en 450 MHz en países tan disímiles como Vietnam, Pakistán, Kenya, Nigeria y Uganda. En Rumania, en 2001, Lucent Technologies instaló la primera red en 450 MHz en el mundo. En el Tibet en donde se implemento la tecnología CDMA450 se logró brindar acceso a más de 100.000 abonados (con un crecimiento inicial de 200 abonados por día) en una zona de escasos recursos y geografía accidentada [8].

El pasado 3 de Marzo de 2005 en San Petersburgo Rusia, Delta Telecom cerró su red NMT450 para dar paso a la red CDMA450 del operador Skylink, convirtiéndose Delta Telecom en el primer operador ruso que cierra la red NMT450. En 2004 las redes NMT450 fueron cerradas en Latvia, Lituania, Polonia, Finlandia y Noruega, para liberar el espacio de frecuencia y dar inicio a la implementación de una red de telefonía móvil celular en la banda de 450 MHz [9].

El Ministerio de Transporte y de Comunicaciones de Finlandia abrió licencia para la implementación de una red móvil digital en la frecuencia de 450 MHz.

En el 2004, la Compañía de Telecomunicaciones Pakistání (**PTCL**, *Pakistan Telecommunication Company Ltda*) seleccionó las tecnologías de Huawei como su socio estratégico para el despliegue de una red nacional en Pakistán.

De acuerdo con una plataforma avanzada, el sistema de Huawei apoya el CDMA2000-1X y CDMA2000-1xEVDO, que garantiza su evolución. El sistema es aplicable no solamente a las redes móviles, sino también a **WLL** (*Wireless local loop*) en Redes Fijas Inalámbricas (FWA, Fixed Wireless Access).

En Praga, República Checa T-Móvil COMO, una unidad de AG internacional T-Móvil de Alemania, buscará una licencia para una red utilizando la tecnología CDMA. T-Móvil desea una licencia de CDMA para operar en la banda de 450MHz. SRO, una unidad del Telecom de la República Checa del operador fijo COMO, desea convertir su propia red de NMT para ofrecer datos inalámbricos de banda ancha, utilizando la tecnología CDMA450.

1.3.2. Suramérica.

Argentina implementará su primera red CDMA450 de acuerdo a un contrato convenido entre el operador CoTeCal (Telefónica cooperativo Calafate) y ZTE Corporation, el fabricante más grande de las telecomunicaciones de China [10].

Hay un gran interés por esta tecnología, por parte de los gobiernos de la región, siendo considerada para impulsar universalización: en Brasil, ANATEL concluyó una prueba muy exitosa; en Perú se está llevando a cabo otra; y tanto Chile, como Argentina y Jamaica están evaluando sus potencialidades [10].

Junto a la empresa de telecomunicaciones ANATEL de Brasil, Lucent llevó adelante, en ese país, un programa en el que se transportaban en un bus una decena de computadores conectados utilizando CDMA2000 en la banda de 450 MHz y sirvió para que mucha gente que nunca había conocido la Web, pudiera navegar y chatear. "Ese protocolo en esa banda va a ayudar a reducir la brecha digital. En el interior del país se usa muy poco y te permite poner las celdas a más de 50 Km de distancia, una de otra cubriendo zonas muy amplias", explicó el responsable comercial de la empresa creada por los laboratorios Bell. "El uso principal de esta tecnología en la actualidad tiene carácter social"[11].

1.4. Escalabilidad.

En términos generales, la escalabilidad hace referencia a la capacidad del sistema para mantener, si no mejorar, su rendimiento medio conforme aumenta el número de clientes. No obstante, sin la realización de la prueba de carga del sistema en un escenario de producción real, no se puede afirmar que un determinado sistema es o no lo

suficientemente escalable. Los proveedores de servicios en zonas rurales carecen a menudo de datos suficientes para estimar de manera precisa la demanda de servicios en una región dada. Por ello, se prefieren los sistemas modulares que permiten que la red crezca en función de las necesidades, con el costo incremental más bajo posible. Puesto que las redes rurales pueden dar servicio en cualquier lugar bien a unas pocas decenas o bien a miles de abonados, la escalabilidad es también un factor económico sumamente importante. *"La escalabilidad constituye siempre un factor decisivo en un buen diseño"*.

Con esta idea se mencionan los resultados ya obtenidos en pruebas realizadas en un entorno real, hechas en un país suramericano. Lucent Technologies y ANATEL presentan resultados de la prueba con tecnología de telefonía móvil celular para combatir la brecha digital en Brasil.

"Lucent Technologies y Anatel, la Agencia Nacional de Telecomunicaciones en Brasil, anunciaron los resultados de la prueba de campo que se realiza en una zona alrededor de Brasilia, capital del país. Durante el primer mes de la prueba, más de 3,000 personas en poblaciones alrededor de Brasilia, incluyendo Santa Marina, Candangolândia, Taquatinga y Sobradinho, tuvieron acceso a servicios de telecomunicación por vez primera. "[7]

La prueba que es desplegada en el espectro de 450 MHz, es parte del proyecto de "Inclusión Digital y Acceso Universal a Internet". Ha mostrado ser una solución ideal para complementar las redes comerciales de voz y datos instaladas por los operadores móviles en las principales ciudades de Brasil porque permite ofrecer servicios inalámbricos de voz y datos en banda ancha a poblaciones remotas que carecen de infraestructura de telecomunicaciones llegando con tecnologías inalámbricas de tercera generación.

1.5. Servicios y aplicaciones.

La red que se desea diseñar debe tener la capacidad de soportar IMT-2000, que es conocido también como tercera generación o 3G, siendo el estándar que maneja las comunicaciones de tercera generación que suministra el acceso inalámbrico a la infraestructura global de telecomunicaciones presentando compatibilidad con sistemas de comunicación basados en redes fijas, Roaming y ofrece servicios multimedia y a los usuarios móviles y a los terminales que lo soporten.

IMT-2000 habilita a sus usuarios para transmitir voz, datos, e incluso imágenes en movimiento. Con el fin de realizar estos servicios, mejora la velocidad de transmisión de datos superior a 144.6Kbps en ambientes de movimiento a alta velocidad, 384Kbps en ambientes en movimiento a baja velocidad, y 2Mbps en ambiente estacionario. IMT-2000 mejora los servicios como conexión a Internet, transmisión de datos a gran escala, videos y descarga de software, dependiendo de la tecnología de acceso que se utilice.

Lo más importante en una red de telefonía móvil celular no es la tecnología o la innovación de la frecuencia de trabajo sino los servicios y aplicaciones que es capaz de soportar la red en mención. “Las tecnologías basadas en normas abiertas se combinarán entre sí, permitiendo la creación de una plataforma IP sobre la que se pueda construir una amplia gama de nuevos servicios y aplicaciones”. [12]

Con los servicios de tercera generación cada consumidor podrá disponer de su propia serie de servicios adaptados a sus necesidades, gustos personales y servicios de transmisión de datos (Internet), accesibles a través de un portal móvil personalizado o un proveedor de servicio con la opción de entablar operación con una WLL. La configuración de los perfiles variará de acuerdo a las condiciones de acceso y como la comunicación cada vez será más independiente del lugar en que se encuentre la persona, el contenido de la información se presentará conforme a la capacidad del terminal utilizado.

“La evolución de la comunicación móvil se lleva por la demanda de una infraestructura fácil de usar y aplicaciones y soluciones relacionadas con terminales. En los años venideros se adaptarán servicios basados en Internet e Intranet a la red inalámbrica, donde estarán disponibles. Los servicios y aplicaciones ilustrados en la siguiente figura. Dan cuerpo a las capacidades de mayor valor de un sistema de tercera generación”. [12]

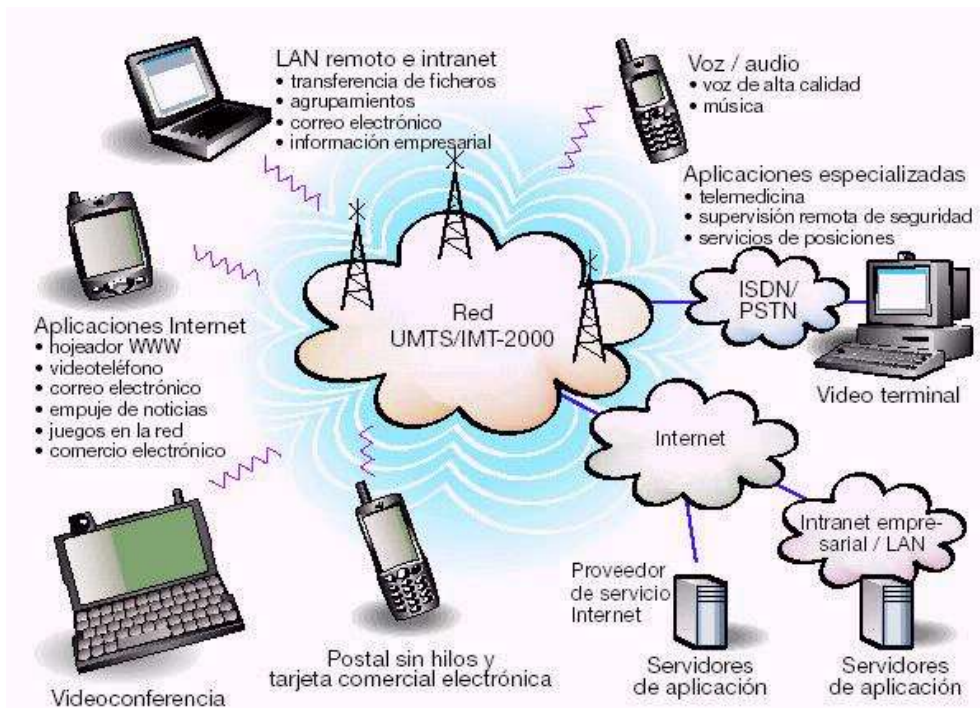


Figura 1.6. Ejemplos de aplicaciones de usuario de tercera generación que se puede pertenecer a una red de telefonía móvil celular en una banda de 450Mhz.

Fuente: Proyecto grado Edge – Opción tecnológica para la evolución de la red móvil celular de Colombia hacia una infraestructura de tercera generación.

Nombrando los servicios que se pueden utilizar en una red de telefonía móvil celular se tiene a continuación:

- Noticias.
- Comercio.
- Servicios basados en localización.
- Mensajes SMS (Servicio de Mensajes Cortos) y MMS (Servicio de Mensajería Multimedia).
- Video Monitoreo.
- Correo Electrónico.
- Entretenimiento.
- Juegos.
- Otros.

Hay que tener en cuenta que la versatilidad que puede presentar este tipo de red con conexiones **WLL** (*Wireless local loop*) en Redes Fijas Inalámbricas (**FWA**, Fixed Wireless

Access), presenta otro tipo de servicios que pueden ser encaminados para la sociedad beneficiada por estos; a continuación se mencionan los más importantes:

- Telemedicina.
- Tele educación.
- Soporte para acceso a Internet.
- Comercio
- Otros.

1.6. Tecnologías para Zonas Rurales y Suburbanas.

Actualmente, en el mundo se esta trabajando por la creación de tecnologías apropiadas para poder brindar comunicaciones a las zonas donde no las hay y de difícil acceso, entre otras (las zonas rurales son la mas afectadas por la falta de telecomunicaciones), diferentes empresas están investigando, trabajando y brindando distintas opciones generando una gama interesante de iniciativas.

La generación de comunicaciones en las zonas rurales es de manufactura difícil en Colombia. Los mecanismos competitivos de mercado no proveen los incentivos suficientes para que las empresas operadoras privadas atiendan demandas de los usuarios en las zonas rurales, o en aquellas localidades donde existen altos niveles de pobreza. Un marco general de las necesidades que puede suplir la tecnología en las comunidades presentes en las zonas rurales se muestra a continuación en la siguiente tabla.

VOZ	SALUD	EDUCACION	DESARROLLO ECONOMICO	SALUD PUBLICA
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Telefonía publica rural. ✓ Telefonía Social 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Registro digital de pacientes ✓ Tele monitoreo 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Educación a distancia. ✓ Acceso a fuentes de información 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Comercio en línea. ✓ Acceso a Internet 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Servicios de emergencia. ✓ Vigilancia Remota. ✓ Seguridad

Tabla 1.1 Necesidades de las comunidades rurales

Existe la necesidad de promover medidas para la satisfacción oportuna de la demanda de todos los servicios de telecomunicaciones a tarifas razonables y procurar el acceso y el servicio universales. La tecnología inalámbrica puede adaptarse a las necesidades de cualquier cliente.

Estandar			
GSM	GPRS/EDGE/UMTS	HSDPA	HSUPA
CDMA	1X/ EV-DO	EV-DO/ EV-DO Rls A	EV-DO Plat/ Flo
OFDM	WIFI/802.11	F-OFDM/WIMAX	MIMO
Aplicaciones	Descargas media Velocidad video Teléfonos (UMTS)	Descargas alta velocidad. Cargas media velocidad. Música, video clips	Banda Ancha inalámbrica. video conferencia, TV

Tabla 1.2 Tecnologías con sus evoluciones que presentan relación con las telecomunicaciones en las zonas rurales

Las tecnologías que se mencionan en la tabla anterior son tecnologías que actualmente pueden suplir la necesidad de comunicaciones para las comunidades rurales y suburbanas (Están o han realizando trabajos de investigación para dichos fines).

Otras tecnologías que tienen la misma finalidad solo que no se mencionan mucho porque el método de aplicación diverge demasiado con los ya mencionados son:

- Las telecomunicaciones satelitales que se están aplicando actualmente en Colombia, cuya tecnología conlleva un gran costo, y solo son manejados por proyectos impulsados por el gobierno.
- Diferentes Redes Cableadas (Redes de fibra óptica, Redes de cobre); tecnologías que no son muy llamativas por el alto costo que representa y el alto riesgo por la situación de orden público en las zonas rurales.

1.6.1. Beneficios para las Zonas Rurales y Suburbanas.

En el territorio Colombiano y en el continente americano se presentan desafíos geográficos y áreas con población dispersa en sus diferentes zonas. El acceso a los servicios de telecomunicaciones en tanto facilita el acceso a la información y posibilita la comunicación es considerada un derecho humano y por lo tanto es deber garantizarlo. Adicionalmente desde hace décadas está demostrado que la expansión de la red de telecomunicaciones genera externalidades (*las actividades económicas tienen consecuencias que no sólo afectan a aquellos que deciden realizarlas sino también a terceros*) positivas en todo el conjunto de la sociedad. Donde se desea llegar es a un acceso universal en todas las regiones disminuyendo hasta eliminar la diferencia entre las diferentes zonas (urbanas y rurales).

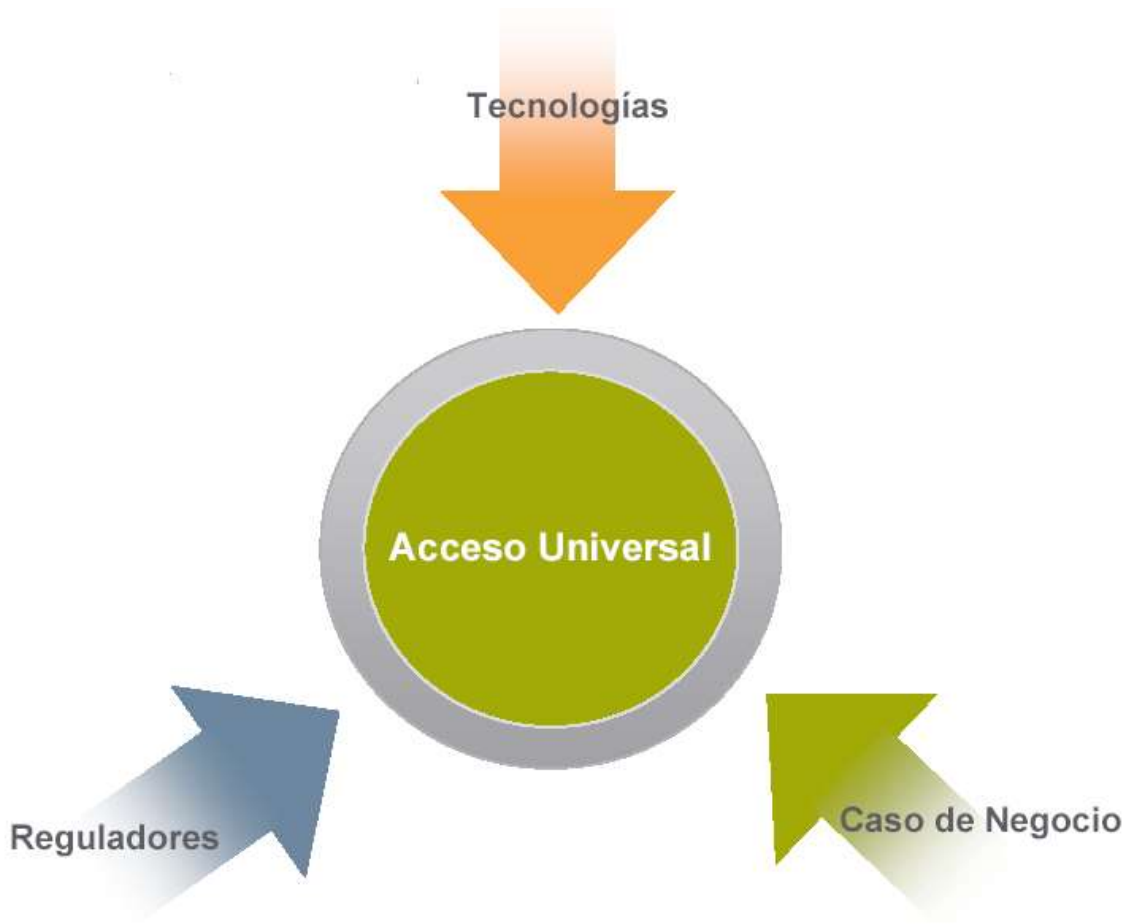


Figura 1.7. Modelo ideal de las telecomunicaciones para las zonas rurales, suburbanas y urbanas

Una normativa mundial generalizada también mejora la itinerancia. Además, una mayor globalidad fomenta el crecimiento de las inversiones en aplicaciones inalámbricas por parte de la industria de las Tecnologías de la Información, lo cual trae como resultado un nuevo crecimiento dirigido por los servicios de datos y multimedia. Este modelo permite finalmente que la red inalámbrica se convierta en una extensión uniforme de Internet, la cual ha experimentado un explosivo crecimiento como resultado de su consistencia a escala mundial.

Alcanzar una familia de normas 3G que optimicen la prestación de servicios en la telefonía móvil celular por medio de protocolos IP, que hace posible la transmisión en línea de voz, video y audio. Un resultado interesante de los procesos de investigación, simulación y pruebas que se han llevado a cabo para la presentación de propuestas de

normas, para los sistemas 3G en una banda de (400 – 450) MHz, mencionando el hecho de que varias regiones geográficas del mundo estén trabajando e investigando una tecnología de radio 3G muy similar para dichas bandas. Todo el trabajo realizado con esta área se puede implementar para las zonas rurales y suburbanas incrementando y beneficiando los diferentes puntos de desarrollo para estas zonas.

Se comparte una misión estratégica de impulsar el desarrollo económico, la integración continental y la modernización de las infraestructuras de telecomunicaciones de los países, mediante:

- la satisfacción de las necesidades de comunicación e información en condiciones de justicia y a costos razonables;
- el empleo de tecnologías eficientes;
- el desarrollo de un ambiente de sana competencia; y
- el estímulo a la participación de amplios sectores, en el proceso de toma de decisiones

El sector de las telecomunicaciones se convirtió en un importante dinamizador del crecimiento de la economía del país. De hecho, durante el periodo 1994-2003, el crecimiento del sector fue en general superior al registrado por la economía nacional según lo muestra la siguiente figura.

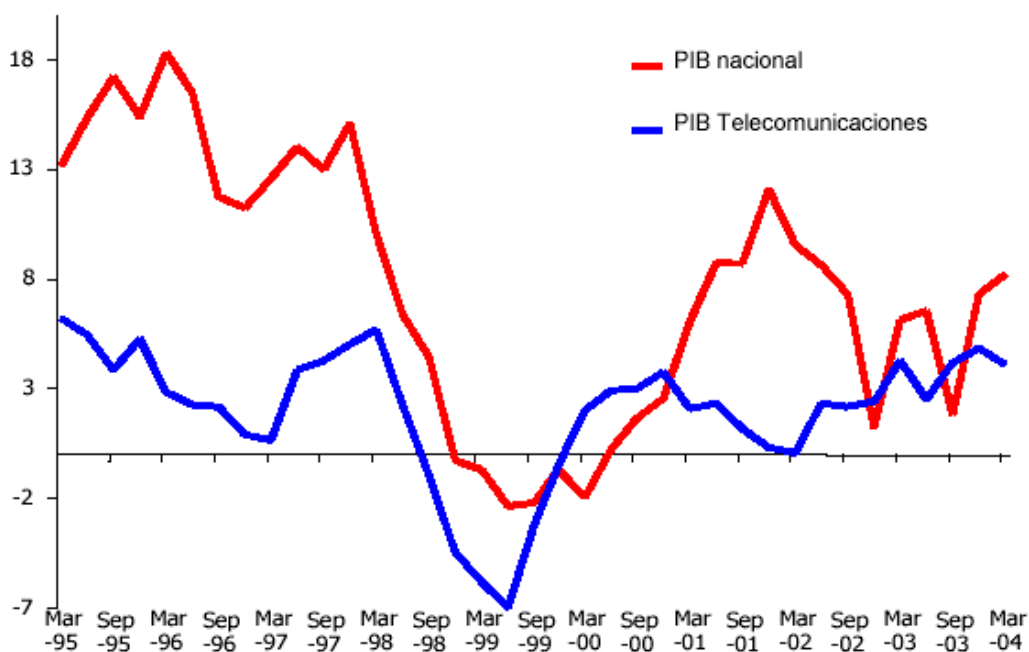


Figura 1.8. Crecimiento del PIB Nacional y PIB Telecomunicaciones.

Fuente: www.mincomunicaciones.gov.co/mincom/src/user_docs/Archivos/Sectorial/

Como consecuencia de lo anterior, la participación del PIB sectorial de telecomunicaciones dentro del PIB nacional, pasó de 1,7% durante 1994 a 2,7% en 2003, con incrementos sostenidos a lo largo de la década.

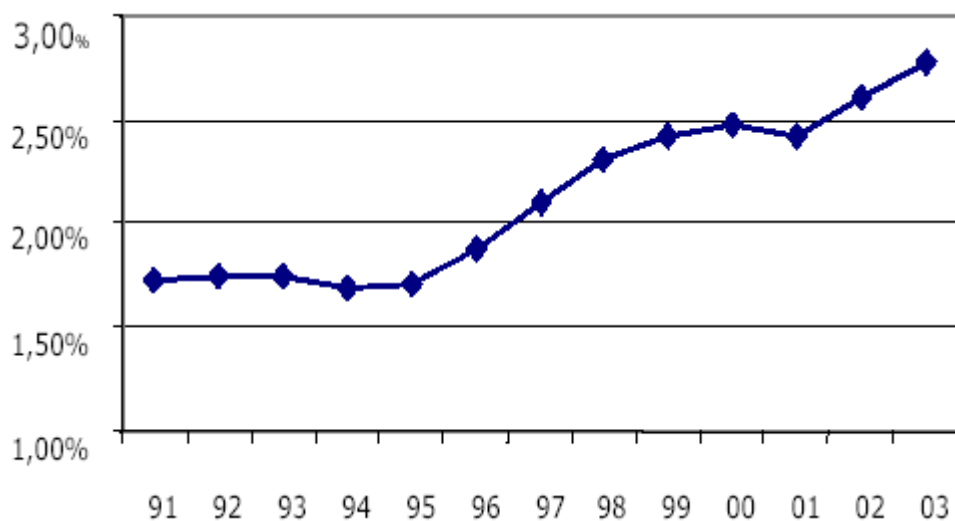


Figura 1.9. Porcentaje de Telecomunicaciones con respecto al PIB Nacional *Fuente:* www.mincomunicaciones.gov.co/mincom/src/user_docs/Archivos/Sectorial/

Este crecimiento es atribuible a la entrada de nuevos servicios como la telefonía móvil y a la apertura de los mercados de larga distancia y telefonía local a la competencia. [13]

Como se acaba de mencionar las telecomunicaciones son un importante colaborador con el desarrollo y crecimiento de la economía nacional, dando un plano bastante claro de que impulsando las telecomunicaciones en las zonas rurales, como por ejemplo, la red de telefonía móvil celular en una banda de 450 MHz y el buen desarrollo de las tecnologías de tercera generación en esta banda en distintos países, proporciona un marco positivo para la posible implementación de estas tecnologías en Colombia, solo esperando el impulso de la economía en estas regiones (rurales y suburbanas), acortando la brecha digital que se presenta en la actualidad.

1.7. Directrices para el Diseño de Tecnologías de la Información y la Comunicación para zonas rurales de países en desarrollo.

➤ Utilización de tecnologías inalámbricas

En las redes de acceso y el bucle local – la parte de la red de telecomunicaciones que conecta al cliente con la central local o el nodo de red más cercanos – los sistemas inalámbricos han demostrado sus ventajas por lo que se refiere a costos de explotación durante la vida útil, en aquellas zonas rurales en las que se ha comprobado que la instalación de una red cableada tiende a tener costos muy elevados por cuestiones de infraestructura donde no resulta viable (acceso a la zona geográfica, situación de orden público, condiciones socioeconómicas del lugar, facilidad de logística y mano de obra adecuada, entre otras).

Entre esas ventajas figuran la facilidad y la rapidez con que se lleva a cabo su instalación en terrenos difíciles y zonas sumamente alejadas, los menores costos de inversión que requieren y la disminución de riesgos en seguridad (robos y daños del cableado), la menor y la mejor recuperación de la inversión realizada.

➤ **Implementación en bandas de baja frecuencia**

Cuando se utilizan sistemas inalámbricos terrenales en zonas rurales cuya población está muy dispersa, a menudo es mejor implementar bandas de menor frecuencia, – por la cobertura y la potencia – conociendo las diferentes tecnologías que hay actualmente para exteriores y zonas rurales, donde las que se implementan en frecuencias menores son de mayor adaptabilidad para zonas de este tipo de características.

Cuanto más baja sea la banda de frecuencias, mayor será el alcance con un nivel de potencia dado. Por ejemplo, la estación de base de un sistema global para comunicaciones móviles (GSM, *global system for mobile communication*) que funciona en la banda de 400 MHz puede abarcar cinco veces la superficie que abarcaría una estación de base de GSM que funcionara a 1 800 ó 1 900 MHz.

➤ **Modularidad y escalabilidad**

Los proveedores de servicios en zonas rurales carecen a menudo de datos suficientes para estimar de manera precisa la demanda de servicios en una región dada. Por ello, se prefieren los sistemas modulares que permiten que la red crezca en función de las necesidades, con el costo incremental más bajo posible.

Puesto que las redes rurales pueden dar servicio en cualquier lugar bien a unas pocas decenas o bien a miles de abonados, la escalabilidad es también un factor económico sumamente importante.

➤ **Gestión de la red a distancia**

Una de las estrategias tecnológicas con mayor éxito que se desarrolla para la reducción de costos de explotación y mantenimiento de las instalaciones rurales ha sido el desplazamiento de las funciones de red hacia los sistemas de gestión a distancia. Viajar a las zonas rurales para configurar las redes, y proceder a su mantenimiento y a las eventuales reparaciones aumenta los riesgos y los gastos en que incurren los operadores de red. Si los sistemas instalados en zonas rurales pueden ser gestionados mediante dispositivos a distancia, reduciendo así la necesidad de desplazamientos físicos a los lugares en los que se hallan las instalaciones, serán más ventajosos, por los menores costos de explotación durante su vida útil, que los sistemas que requieren mantenimiento sobre el terreno. La supervisión de averías a distancia, así como la configuración de

sistemas de ajuste de tarifas y pago de forma electrónica se han demostrado tan satisfactorios por lo que se refiere a la reducción de esos costos durante la vida útil de los teléfonos de previo pago rurales y distantes que actualmente se considera que son la norma de la industria.

➤ **Terminales multiusuario**

La norma de los países desarrollados de un teléfono en cada hogar – y un computador en cada mesa de trabajo resulta demasiado gravosa para los niveles de renta de las zonas rurales de los países en desarrollo. Como resultado de ello, en muchos países se ha fomentado la instalación de locutorios telefónicos locales y telecentros comunitarios polivalentes (MPC, *multi-pupose community telecenters*) en los que los aldeanos pueden acceder al teléfono, al correo electrónico, a los medios educativos, a cursos de capacitación, a la telemedicina y a otros servicios conexos de pago por utilización. Los teléfonos y los dispositivos relacionados con la tecnología de la información instalada tienen facilidades compartidas, que quizás requieran funciones de medición, programas informáticos para gestionar cuentas o usuarios múltiples y otros sistemas de pago o facturación especializados.

➤ **Conformidad con las normas**

En el diseño de aplicaciones y redes de tecnología de la información para zonas rurales intervienen una gran variedad de actores. Las organizaciones gubernativas, o bien docentes, o de carácter internacional y las organizaciones no gubernamentales de los países en desarrollo diseñan e implementan de manera rutinaria proyectos de tecnología de la información con los que dar soporte a sus propias aplicaciones. Como resultado de ello, es incluso más importante, ahora y en el futuro, que los equipos utilizados en zonas rurales y distantes se atengan a normas aprobadas por la UIT y otros organismos de normas reconocidos. Las aplicaciones de soporte lógico deberán admitir protocolos abiertos aplicables a la capa 3 y capas superiores de la ISO, y deberán cumplir plenamente las Recomendaciones pertinentes de la UIT sobre interconexión red de área local/ red telefónica pública conmutada.

➤ **Necesidad de bajo consumo de potencia**

Puesto que muchas zonas rurales no están conectadas a las redes principales de energía eléctrica de sus países, los requisitos de consumo de potencia constituyen una consideración fundamental a la hora de elegir la tecnología aplicable en esas zonas. Los dispositivos deberán diseñarse de manera que su consumo de potencia sea mínimo, la gestión de la potencia pueda llevarse a cabo de manera eficaz, sean compatibles con los sistemas de energías renovables y sistemas de energía distintos de la red principal, y tengan otras características relacionadas con la conservación de la energía.

2. TECNOLOGIAS PARA LA BANDA DE (400-500) MHz.

Después de conocer las opciones de sistemas que pueden trabajar en una banda, se hace necesario estudiar brevemente las características generales que presentan las tecnologías establecidas con el fin de permitir a las redes de telefonía móvil celular trabajar en zonas rurales y suburbanas, se realiza una búsqueda flexible del cumplimiento de los objetivos propuestos para establecer comunicaciones en este tipo de zonas con servicios de tercera generación, en comunicaciones móviles y transferencias de voz y datos a redes inalámbricas fijas.

Para entender las diferentes opciones que se presentan en este tipo de tecnologías para los operadores, se comienza examinando los caminos de migración comúnmente concebidos para las tecnologías con mayor penetración en el mercado global que realizan investigación a nivel rural y suburbano: GSM400 y CDMA450, en el ámbito de redes de telefonía móvil celular.

Hay que asumir que las tecnologías mencionadas funcionan como una búsqueda para la implementación de este tipo de redes que tengan la capacidad de trabajar en zonas rurales y suburbanas con servicios de tercera generación y/o tengan comunicación con redes fijas inalámbricas (WLL).

Se comienza con una mención global de estas tecnologías en una banda común (utilizadas actualmente en Colombia – 800, 900, 1800 MHz) con sus características más importantes, luego se hace una evocación de la transición de las tecnologías en estas bandas a las bandas de (400-450) MHz con sus características, el cual determina cual va a ser la opción más viable, obviamente con la opción de trabajar en 3G.

2.1. Sistema Global para Comunicaciones Móviles GSM.

La especificación GSM (Global System Mobile) fue definida en 1989 por ETSI (European Telecommunications Standards Institute – Instituto Europeo de Estándares de Telecomunicaciones) con el objetivo de desarrollar un único estándar digital paneuropeo para facilitar el roaming internacional entre estos países. Es una tecnología de transmisión digital que utiliza el sistema de acceso múltiple por división de tiempo (TDMA), con 8 time slots (TS – ranuras de tiempo) y espaciamiento entre portadoras de 200 KHz. [14]

2.1.1. Aspectos Técnicos GSM

2.1.1.1. Bandas de Frecuencia para GSM.

GSM opera en las bandas de 900, 1800 y 1900 MHz. la infraestructura y los terminales están disponibles en estas bandas, en donde tienen desplegado sus sistemas. GSM 900 tiene adjudicado un ancho de banda de 70 MHz con 350 canales simples de 200 KHz cada uno. Los enlaces de Uplink y Downlink dependiendo de la frecuencia, se indican a continuación. [15]

- El sistema GSM 900 maneja un enlace Uplink de 880 – 915 MHz y un enlace Downlink de 925 – 960 MHz. Entre los enlaces hay una separación de 45 MHz.
- El sistema GSM 1800 maneja un enlace Uplink de 1710 – 1785 MHz y un enlace Downlink de 1805 – 1880 MHz. Entre los enlaces hay una separación de 95 MHz. En esta banda GSM tiene un ancho de banda de 150 MHz.
- El sistema GSM 1900 maneja un enlace Uplink de 1850 – 1910 MHz y un enlace Downlink de 1930 – 1990 MHz. Entre los enlaces hay una separación de 95 MHz. En esta banda GSM tiene un ancho de banda de 120 MHz.

2.1.1.2. Características Principales de GSM.

- Espaciamiento de portadora de 200 KHz.
- Cada canal simplex de 200 KHz, se divide en 8 TS, cada TS tiene una duración de 0,072 ms y la duración de la trama es de 0,576 ms.

- Digitaliza y comprime voz y datos.
- Esta basado en las tecnologías de acceso TDMA.
- GSM utiliza canales duplex de radio frecuencia, que consta de dos frecuencias, una de transmisión y otra de recepción.
- Utiliza modulación GMSK.
- Plan de frecuencia $N = 4$.
- Soporta estructura jerárquica de frecuencias.
- La multitrama de tráfico esta formada por 26 tramas y la multitrama de control por 52 tramas.
- Provee algoritmos de encriptación para autenticar al usuario y cifrar las conversaciones.
- Utiliza una tarjeta inteligente, denominada SIM (Subscriber Identity Module – Modulo de identificación del suscriptor) como mecanismo de acceso a la red. La identidad del suscriptor se encuentra en la tarjeta y no en el equipo, permitiendo al usuario cambiar el dispositivo celular. Soporta 3G.
- Soluciona problemas de propagación como desvanecimiento (fading), interferencia de multitrayectoria y de canal adyacente mediante ecualización, codificación de canal intercalado (interleaving), diversidad de recepción y saltos lentos de frecuencia. Estos saltos de frecuencia (show frequency hopping) son opcionales en la BTS (Base Tranceiver Station – Estación Tranceptora Base), obligatorias en las MS (Mobile Station – Estaciones Mobiles) y el salto maximo posible es de 25 MHz.
- Ofrece Roaming Global.
- Brinda la oportunidad de implementar sistemas de bajo costo debido a la economía de escala.
- Utiliza la misma banda de operación de 1900 MHz que TDMA/IS-136 y CDMA/IS-95 [15].

2.1.2. Estandarización GPRS y EDGE.

2.1.2.1. GPRS

La estandarización GPRS hace parte del estándar GSM, es una red superpuesta que introduce servicios de datos por conmutación de paquetes a los sistemas celulares existentes GSM y TDMA/IS-136 para la transmisión de datos, permitiendo la utilización eficiente del espectro actual y altas velocidades de bit, es considerada como una tecnología de 2.5G. GPRS se beneficia de la tecnología de escala desarrollada por la industria GSM para promover el roaming mundial entre los sistemas GSM y TDMA/IS-136 siendo esto un paso importante en la ruta de migración de estas redes hacia 3G.

Las características más importantes son:

- Modulación GMSK.
- GPRS utiliza el mismo canal de radio de 200 KHz de GSM.
- Introduce conmutación de paquetes a GSM y TDMA/IS-136, utilizando esquemas de codificación necesarios para aumentar la velocidad de transmisión de datos.
- No requiere conexión física extremo a extremo y brinda alta eficiencia espectral porque los recursos de red y ancho de banda son asignados dinámicamente.
- La conexión se realiza en el momento de utilización del canal y no se establece un canal dedicado para cada usuario.
- En GPRS, menos usuarios activos implican que cada usuario tiene acceso a más ancho de banda, a medida que crece el número activo de usuarios, disminuye el ancho de banda asignado a cada usuario.
- Obtiene la misma cobertura de las redes celulares actuales.
- Velocidades de bit en el rango de 14.4 Kbps (1 TS) a 115 Kbps (8 TS), supeditada a las posibilidades del terminal móvil y la interferencia de la portadora

2.1.2.2. EDGE

EDGE fue propuesto como una evolución de GSM hacia las capacidades de 3G. Es una interfaz de aire genérica que proporciona altas velocidades de bit de forma eficiente y tiene como objetivo reutilizar el espectro actualmente asignado a los operadores celulares de 2G para proporcionarles capacidades 3G.

La interfaz de aire EDGE introduce modulación de alto nivel y nuevos esquemas de codificación para comunicación de datos por conmutación de circuitos y paquetes, logrando de esta manera velocidades de bit más altas. Muchos parámetros de EDGE como el espaciamiento de portadora de 200 KHz, la estructura de trama TDMA (de GSM) y la modulación GMSK son idénticos a los de GSM. La idea básica comprende la reutilización de los tipos de servicios establecidos en GSM, pero con velocidades de bit mayores.

EDGE tiene dos modos de implementación, Classic y Compact, pertenecientes a la fase que es para incorporar mejoras a servicios multimedia y soporte para aplicaciones de tiempo real que son entregados por medio del protocolo IP (Internet Protocol). En la siguiente tabla se muestra las características más importantes.

MODO CLASSIC	MODO COMPACT
➤ Todos los canales de control y tráfico de paquetes en 200 KHz.	➤ Todos los canales de control y tráfico de paquetes en 200 KHz.
➤ Reutilización 4/12	➤ Reutilización 1/3
➤ 2.4 MHz + banda de guarda	➤ 0.6 MHz + banda de guarda BS sincronizada proporcionando reutilización 4/12
➤ No hay requerimientos para BS sincronizada	➤ 6.67 TS disponibles para tráfico
➤ 7 TS disponibles para tráfico	➤ No hay transmisión de intervalos inactivos
➤ La portadora Transmite constantemente	

Tabla 2.1. Características básicas para modos Classic y Compact. [15]

2.1.3. Generalidades GSM.

Actualmente Siemens esta ofreciendo equipos para usuarios con capacidades multibanda. En zonas urbanas se esta trabajando para tener totalidad en cuanto a cobertura digital de redes AMPS-TDMA el cual presenta una atenuación mayor en las

conversaciones de voz de alta calidad, lo cual es característico en GSM y TDMA/IS-136. Los operadores TDMA en la banda de 800 MHz tienen que desplegar mayor (y por ende mayor costo) cobertura de celdas GSM de lo que inicialmente se planeaba. Sin esta medida pueden arriesgarse suministrando servicio de baja calidad a sus abonados GSM.

Desde el comienzo, con la planeación de GSM se deseaba compatibilidad con ISDN en los servicios ofrecidos y en la señalización de control usada. El radio enlace impuso algunas limitaciones, sin embargo, el estándar ISDN de velocidad de bit de 64 Kbps no se logró en la práctica.

La naturaleza digital de GSM permite transmisión de datos tanto en forma síncrona como asíncrona para ser transportados como un servicio portador hacia o desde un terminal ISDN. Los datos pueden utilizar el servicio transparente el cual tiene un retardo fijo pero no garantiza la integridad de los mismos, o un servicio no transparente el cual garantiza integridad de datos a través de un mecanismo de requerimiento de repetición automático (ARQ), pero con un retardo variable. Las velocidades de datos soportada por GSM son 300 bps, 600 bps, 1200 bps, 2400 bps y 9600 bps.

El tele servicio más básico soportado por GSM es la telefonía. Una característica diferente de GSM comparado con los sistemas analógicos es el servicio de mensajería corta SMS (Short Message Service – Servicios de Mensajes Cortos). SMS es un servicio bidireccional para enviar mensajes alfanuméricos cortos (de hasta 160 caracteres) en una versión de almacenamiento y reenvío. Para SMS punto a punto, un mensaje puede ser enviado a otro abonado, y se envía un acuse de recibo por parte del receptor hacia el transmisor. SMS se puede usar también en un modo de multidifusión celular, para enviar mensajes como actualizaciones de tráfico o actualización de noticias. Los mensajes se pueden guardar en la tarjeta SIM para ser recuperados posteriormente. Ahora con los servicios de 3G se tiene mensajes MMS (Multimedia Message Service – Servicios de Mensajes Multimedia) que abarca una amplia gama de contenidos, es una ampliación lógica de SMS, por lo que resulta fácil de adoptar por parte de la generación actual de usuarios de móviles. La mensajería multimedia permite el envío automático e inmediato de mensajes personales. No obstante, a diferencia del SMS, MMS permite a los usuarios de teléfonos móviles mejorar sus mensajes incorporando sonido, imágenes y otros

contenidos, transformando su mensaje en un mensaje visual y de audio personalizado. Pero la tecnología MMS ofrece algo más que la simple ampliación del contenido de los mensajes. Con MMS, no sólo es posible enviar mensajes multimedia de un teléfono a otro, sino también de un teléfono a correo electrónico y viceversa. Esta función aumenta de forma espectacular las posibilidades de la comunicación móvil, tanto para uso privado como profesional. Lo más importante es que MMS también es independiente del portador, lo que significa que no se limita a una sola red (GSM o CDMA)

El método escogido por GSM para aprovechar mejor el ancho de banda es una combinación de TDMA y FDMA. Un intervalo de tiempo se emplea para transmisión y otro para recepción por el móvil. Los intervalos están separados en el tiempo por lo cual el móvil no recibe y transmite en el mismo intervalo de tiempo, un factor que simplifica la electrónica.

2.2. Acceso Múltiple Por División De Código CDMA

El acceso múltiple por división de código CDMA (Code Division Multiple Access) es un concepto radical en comunicaciones inalámbricas. CDMA ha ganado difusión internacional siendo aceptado por operadores de radio celular como un mejoramiento que aumenta drásticamente la capacidad del sistema y la calidad del servicio. Igualmente ha sido escogido para el despliegue de PCS por la mayoría de los ganadores de las licencias de espectro en los Estados Unidos.

El espectro ensanchado de CDMA se obtiene mediante la técnica DS (Direct Sequence – Secuencia Directa) que significa distribuir la potencia sobre un ancho de banda de transmisión dado. Esto se obtiene de la siguiente forma: los datos generados por el usuario tienen una velocidad denominada velocidad de bit, cada bit es multiplexado con un flujo de bits (secuencia de Pseudo Ruido PN) que tiene una velocidad conocida como velocidad pseudoaleatoria más alta para lograr un flujo final de salida a una velocidad conocida como velocidad de chip, este proceso aumenta el ancho de banda que ocupaba la información original

El núcleo principal del espectro ensanchado es el empleo de ruido como onda portadora y como el nombre lo indica anchos de banda mayores de los requeridos para comunicaciones punto a punto a la misma velocidad de datos. Originalmente tuvo dos objetivos: bloquear las comunicaciones para que no fueran captadas por los enemigos y lograr privacidad en las conversaciones.

Las aplicaciones comerciales fueron posibles debido a dos desarrollos evolutivos. Uno fue la disminución de costos, alta densidad de circuitos integrados digitales, los cuales reducen el tamaño, peso y costo de las estaciones móviles a un nivel aceptable. El otro fue la realización de comunicaciones de acceso múltiple donde todas las estaciones móviles regulan su potencia de transmisión al más bajo nivel hasta lograr una calidad adecuada de la señal.

Los receptores de CDMA no eliminan completamente el procesamiento analógico, pero separan los canales de comunicación por medio de un pseudo código de modulación al azar que es aplicado y removido en el dominio digital y no sobre las frecuencias base. Múltiples usuarios ocupan la misma banda de frecuencia debido a que el reuso de frecuencia permite mayor eficiencia espectral siendo esta la marca de calidad de CDMA

CDMA es el proceso de transmisión de datos usando tres códigos para lograr la modulación SS [15]:

- *Código Walsh*: Identifica al suscriptor dentro de la celda, asignándole un canal de comunicación (código único). Código ortogonal.
- *Código Corto PN*: Distingue sectores y celdas. Código ortogonal.
- *Código Largo de Usuario*: Distingue las MS con un código único para cada una de ellas y permite recuperación de señal en la BTS. Los códigos no son ortogonales pero son lo suficientemente diferentes para permitir una decodificación fiable sobre el enlace Uplink.

2.2.1. Aspectos técnicos de CDMA

2.2.1.1. Bandas de Frecuencia para CDMA

Los estándares CDMA, AMPS y TDMA/IS-136 utilizan las mismas bandas de frecuencia NES y ES, pero CDMA utiliza en teoría 10 portadoras para el enlace Downlink para cada

banda (A o B), cada una de 1.25 MHz. En la práctica utiliza 8 portadoras para cada enlace debido a las bandas de guarda.

- El sistema CDMA en la banda de 800 MHz tiene un ancho de banda de 50 MHz para las bandas A y B. En cada banda se tienen 12.5 MHz. para el enlace Uplink y 12.5 MHz para el enlace Downlink, por lo tanto se obtienen 10 portadoras de 1.25 MHz para cada enlace. Maneja un enlace Uplink de 825 – 849 MHz y un enlace Downlink de 870 – 894 MHz. Entre los enlace de subida y bajada hay 45 MHz de separación.
- El sistema CDMA en la banda de 1900 MHz tiene un ancho de banda de 120 MHz. En cada banda se tienen 12.5 MHz. Maneja un enlace Uplink de 1850 – 1910 MHz y un enlace Downlink de 1930 – 1990 MHz. Entre los enlace de subida y bajada hay 80 MHz de separación.

2.2.1.2. Características Principales de CDMA.

- Espaciamiento de portadora de 1.25 MHz.
- Cada portadora soporta teóricamente 64 códigos de Walsh (64 usuarios), a cada usuario se le asigna un código ortogonal único, donde cada código es un canal.
- La técnica de dispersión de espectro no aporta beneficios por si misma, es la combinación de dispersión con la ausencia de esta, lo que hace que CDMA sea atractivo.
- En la transmisión del espectro ensanchado (SS), una señal se transmite utilizando un ancho de banda de RF mayor que el requerido y un nivel de potencia bajo, haciendo que la señal sea más fácil de detectar en el receptor al reducir el ruido de fondo en la celda.
- Con la técnica de espectro ensanchado (SS) se obtiene inmunidad frente a interferencias y confidencialidad de las comunicaciones, logrando baja probabilidad de clonación.
- La velocidad de secuencia de Pseudo Ruido (PN) es de 1.25 MHz obteniendo 10 portadoras del espectro celular de 12.5 MHz para el enlace Uplink y Downlink de ambas bandas (A/B).
- Utiliza modulación OQPSK (Orthogonal QPSK – QPSK ortogonal).

- Ofrece mayor eficiencia espectral debido a la reutilización de $N = 1$, permitiendo que múltiples usuarios ocupen la misma banda de frecuencia.
- La interferencia multitrayectoria deja de ser una molestia destructiva para CDMA. Cada MS (Mobile Station) selecciona las tres señales de multitrayectoria más fuertes y coherentemente las combina para producir una mejor señal.
- Utiliza un generador de tiempo, el cual se basa en un receptor GPS (Global Positioning System – Sistema de Posicionamiento Global) y circuitos osciladores.
- Es una tecnología limitada por el ruido, debido a que un sin número de usuarios utilizan una misma frecuencia para transmitir.
- Sistema simplificado de planeación de frecuencias $N = 1$, mediante el uso de las mismas portadoras en cada celda (máximo 8 portadoras por celda). Las portadoras disponibles para el servicio celular se pueden reutilizar en todas las celdas por medio de restricción de códigos, los cuales no se deben reutilizar en la misma portadora de celdas adyacentes, sino en portadoras de frecuencia diferentes.
- El control de potencia es una condición necesaria para el buen funcionamiento del sistema. Se requiere que las señales lleguen a la BTS desde la MS con la misma fuerza y viceversa, a pesar de sus distancias y condiciones de propagación.
- El sistema CDMA proporciona soft hand off, softer hand off y hard hand off. *Soft hand off* consiste en hacer una conexión a la nueva celda mientras se mantiene la conexión simultánea del canal de tráfico con ambas celdas. *Softer hand off* ocurre cuando una MS transmite a dos sectores diferentes de la misma celda. *Hard hand off* hay dos tipos; el Digital to Digital hand off ocurre cuando el móvil está pasando entre dos portadoras CDMA o entre dos operadores; el Digital to Analog hand off ocurre cuando una llamada CDMA es atendida en una red analógica.

2.2.2. Generalidades CDMA.

Un usuario puede incrementar la velocidad de transmisión de datos sin cambiar el ancho de banda de la señal que es transmitida. Esto permite una forma de asignación dinámica de ancho de banda por demanda.

CDMA está mejorando la telefonía celular y comunicación de PCS debido a que proporciona un incremento en la capacidad de tráfico telefónico, un gran

perfeccionamiento en la calidad de la voz eliminando los efectos audibles del desvanecimiento por multirayecto, y además provee mecanismos fiables de transporte para comunicaciones de datos tales como facsímil y tráfico de Internet, reduce los costos de operación y desarrollo por que necesita menos celdas, reduce la potencia promedio transmitida y reduce la interferencia con otros dispositivos electrónicos o electromecánicos.

Se emplean técnicas de control para mantener la potencia transmitida en el mínimo absoluto que se requiere para dar como resultado una llamada de gran calidad. La relación con la capacidad es como sigue:

Menos potencia = menos energía = menos interferencias = mayor capacidad.

2.2.3. CAMINO DE MIGRACION PARA LOS OPERADORES CDMA.

El camino inicial de migración para operadores CDMAOne es opcionalmente a CDMA/IS-95-B y luego a CDMA/IS-95-C o CDMA 1xRTT. CDMA 1xRTT es abreviado frecuentemente como cdma2000 1X o algunas veces cdma2000 1x.

El próximo paso de evolución es hacia cdma2000 1x EV-DO (Evolución solamente de datos) el cual se tiene disponibilidad comercial desde comienzos del año 2002. cdma2000 1x EV-DV.

2.2.3.1. CDMAOne/IS-95-A.

CDMAOne/IS-95-A soporta voz por conmutación de circuitos y datos por conmutación de circuitos o paquetes a velocidades superiores a 14.4 Kbps. Debido a la temprana focalización de los proveedores y operadores en la voz, CDMAOne/IS-95-A históricamente ha sido usado para voz por conmutación de circuitos y recientemente para una pequeña cantidad de datos por conmutación de circuitos.[14]

2.2.3.2. CDMAOne/IS-95-B.

CDMAOne/IS-95-B soporta voz por conmutación de circuitos y datos por conmutación de paquetes. Provee teóricamente velocidades de datos por encima de los 115 Kbps, y en la práctica velocidades de 64 Kbps. CDMAOne/IS-95-B está siendo sobrepasado por la mayor capacidad y velocidad de CDMA2000 1x.[14]

2.2.3.3. CDMA2000.

CDMA2000 es la solución de 3G basada en CDMA/IS95 para IMT 2000 y pertenece a la familia de acceso por radio de interfaces de aire acordadas bajo el OHG (Operators Harmonization Group – Grupo de Operadores para la Armonización) para promover y facilitar la convergencia de redes 3G. La primera fase de CDMA2000 denominada CDMA2000 1X y la segunda fase es CDMA2000 3X que ha sido sustituido por CDMA2000 1XEV, donde 1XEV significa evolución 1X, utilizando portadoras de 1.25 MHz.[14]

2.2.3.4. CDMA2000 1x.

CDMA2000 1x era llamado históricamente fase 1 de la migración a 3G de CDMAOne. Soporta voz por conmutación de circuitos y datos por conmutación de paquetes sobre el mismo canal de RF. Teóricamente CDMA2000 1x permite velocidades de datos por encima de 307 Kbps o mayores, dependiendo del ambiente RF. En Octubre de 2000, en Corea se colocó en operación el primer servicio comercial CDMA2000 1x en el mundo en la banda de 800 MHz. Este lanzamiento ilustra tanto la flexibilidad como la capacidad comercial de CDMA2000 1x. [14]

2.2.3.5. CDMA2000 1x EV-DO.

CDMA2000 1x EV-DO soporta voz y datos de alta velocidad por conmutación de paquetes en canales RF separados. El canal de voz facilita la baja latencia necesaria para transmitir conversaciones bidireccionales. El canal de datos permite enrutamiento flexible y transmisión a bajo costo lo cual es una ventaja de una red por paquetes. CDMA2000 1x EV-DO suministra teóricamente velocidades de datos por encima de 2.4 Mbps. La utilización de canales separados para voz y datos requiere más ancho de banda que si se usa un canal combinado. [14]

Es importante reconocer que la migración de CDMAOne a CDMA2000 1x va más allá de proveer un uso más flexible del espectro comparado con la migración de GSM a UMTS y de TDMA/IS-136 a través de GSM a UMTS. Los operadores pueden desplegar cdma2000 1x EV-DO (y eventualmente EV-DV) sobre el espectro disponible en 1900 y 2100 MHz y/o en el actualmente asignado en 800 y/o 1900 MHz.

El uso flexible del espectro es una ventaja de CDMA2000 1x que permite a los operadores usar su banda disponible por lo cual CDMA2000 1x puede eximirlos del manifiesto costo de licitación para nuevo espectro 3G. Los operadores que desplegaron CDMA2000 1x en el espectro asignado actualmente no ganan la capacidad añadida que el nuevo espectro suministra. Sin embargo, esta desventaja es superada por el algoritmo de codificación más eficiente que utiliza CDMA2000 1x. Este algoritmo dobla la capacidad teórica de CDMAOne, aunque en la práctica la ganancia de capacidad sin degradación de voz, será más cercana al 50%. Debido a que GPRS es una arquitectura de red, no una interfaz RF, no puede proveer ganancia en su capacidad, como sucede como con EDGE y UMTS.

2.3. Diferencias de una Red de telefonía Móvil Celular en una Banda de 800 MHz o Mayor con Bandas de 450 MHz.

Independiente de las diferencias tecnológicas o las diferencias en las fases de diseño de estas redes (que se presentara en el capítulo 3), lo importante para mencionar es el mercado que cada una de ellas puede trabajar. Como ya bien es conocido, el mundo tiene redes de segunda generación en adelante con las tecnologías de GSM y CDMA, con sus respectivas evoluciones y cambios tecnológicos (mencionados en los numerales anteriores) para la lucha del mercado mundial y por supuesto una con mayor aceptación – GSM sobre CDMA - que otra a nivel mundial.

Cuando se mencionan redes en bandas de 800 MHz o en mayores frecuencias, se hace referencia (por lo general) a redes donde hay gran densidad poblacional (*ciudades*), prestando servicios de voz y transferencias de datos.

Cuando se hace mención de una red en la banda (400-450) MHz el enfoque es completamente distinto. Se refiere al mercado de las zonas rurales y suburbanas, donde

las redes comunes de telecomunicaciones no se presentan, donde el objetivo principal es el disminuir la brecha digital y de telecomunicaciones que mantiene los diferentes tipos de zonas (rural y urbana) ya sea por cuestiones políticas, geográficas o económicas.

2.4. CDMA vs. GSM.

A continuación se menciona una comparación de los aspectos más importantes de estas dos tecnologías a nivel general, (Estas tecnologías tienen el mismo comportamiento independiente de la banda de trabajo) con dos características determinantes y muy importantes para el desarrollo de una red de telefonía móvil celular

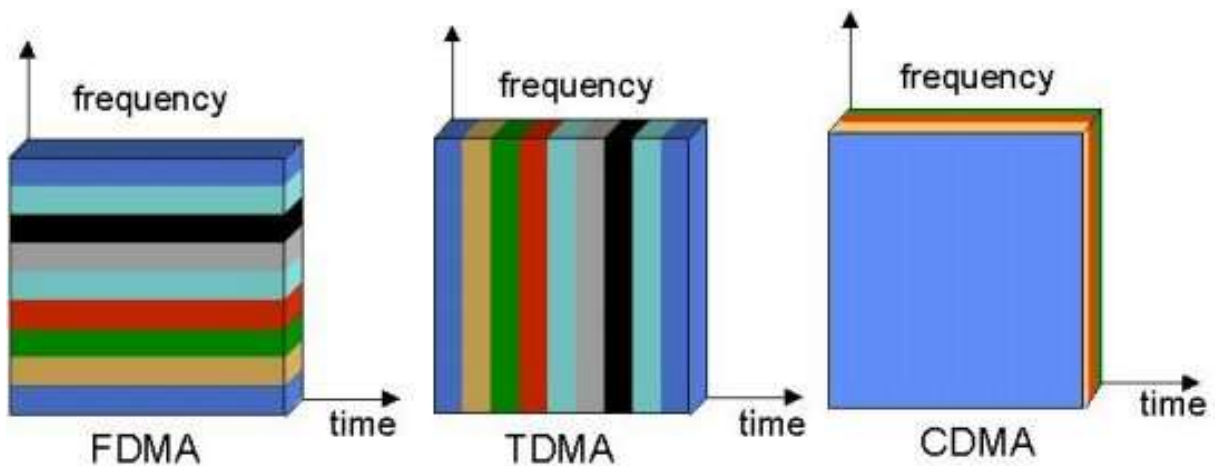


Figura 2.1. Técnicas de acceso FDMA, TDMA y CDMA. Fuente www.umtsworld.com

Los radios del sitio celular real pueden diferir, si la red es limitada en capacidad más que en cobertura. Como se puede apreciar CDMA posee la cualidad de no saturarse, gracias al tipo de acceso de códigos que esta implementa, mientras que FDMA y TDMA se saturan tanto en la carga de frecuencia como en el la ranura tiempo empleada por el acceso, respectivamente.

En la telefonía analógica las comunicaciones viajan por un canal en forma continua y lineal. La tecnología GSM o TDMA divide el canal en pequeños fragmentos temporales para obtener comunicaciones simultáneas y mantener la ilusión de continuidad, con CDMA las comunicaciones no son fragmentadas sino codificadas de tal forma que viajan

simultáneamente sin interponerse unas con otras, logrando una mayor cantidad de enlaces.

Una buena metáfora, es comparar una red a un cuarto lleno de personas (enlaces), donde si usaran GSM todos hablarían de a una palabra por vez, entonces, al no haber superposición se escucha claro y fuerte; sin embargo en un cuarto igual de lleno que hablaran con CDMA, cada enlace, se podría hablar al mismo tiempo, pero con lenguajes que no se superponen de manera que el uso del espectro es mucho más amplio y al mismo tiempo se evita interferencias o superposiciones.

2.4.1. Comparación en Cuanto a Cobertura.

CDMA suministra un radio celular máximo, de casi el doble del radio disponible con GSM TDMA en cada morfología, esto se debe a la técnica de acceso que utiliza y de espectro ensanchado que utiliza CDMA, permitiendo una mayor cobertura utilizando menor potencia.

La señal de espectro extendido de CDMA provee gran cobertura en la industria inalámbrica, permitiendo a las portadoras la instalación de menos celdas para cubrir un área más extensa. Pocas celdas significan para las portadoras mucho ahorro en infraestructura de radio bases. Dependiendo de la carga del sistema y de la interferencia, la reducción de celdas es 50% menor en CDMA que en sistemas como GSM basado en TDMA. Es preciso notar que la reducción de celdas sólo es válida para operadores que empezaron desde un principio con CDMA. Operadores que utilizan sistemas analógicos o basados en otras tecnologías deberán redistribuir las celdas CDMA con las celdas ya existentes.

La siguiente tabla presenta una comparación de las alternativas de acceso entre CDMA y GSM TDMA con respecto a cobertura en diferentes zonas con diferentes características de densidad poblacional.

Morfología y penetración permitida In-building	CDMA		GSM TDMA	
	Radio Celda (Km2)	Área de de cobertura máxima (Km2)	Radio Celda	Área de de cobertura máxima (Km2)
Urbana Densa (15 dB)	1.59	6.6	0.84	1.8
Urbana Liviana (15 dB)	2.11	11.6	1.12	3.3
Suburbana (10 db)	5.61	81.8	3.00	23.4
Rural (10 dB)	21.44	1.194.5	11.05	317.4

Tabla 2.2. Comparación área de cobertura y radio de la celda en CDMA y GSM/TDMA en 800 MHz.

Fuente: <http://www.frecuenciaonline.com/espanol/index.php>

Se muestra las características en una banda de 800 MHz porque presenta mejores resultados para zonas rurales y suburbanas que una banda de 1900 MHz de las redes de telefonía móvil celular actuales.

NOTA: GSM y CDMA operan independiente de la banda de la banda en que se encuentren.

2.4.2. Comparación en cuanto a la calidad de servicio.

El desvanecimiento por multirrayecto degrada la calidad de la voz en los sistemas GSM TDMA o en sistemas analógicos. CDMA toma ventaja de las señales multirrayecto empleando "receptores rastreadores" para mejorar la calidad de voz. Los receptores rastreadores siguen la huella de las señales y el multirrayecto independientemente, y la suma de las señales es usada como señal para la desmodulación.

GSM emplea un vocoder de 13 Kbps de velocidad fija y métodos digitales de interpolación de voz. Los vocoders CDMA siempre transmiten por lo menos a una velocidad de voz de

1200 bps lo cual se refleja en una calidad de voz natural. La velocidad variable de los vocoders CDMA usan el espectro de frecuencia más eficientemente produciendo una velocidad promedio de datos significativamente menor que la velocidad pico.

Es importante garantizar a los usuarios continuidad en las llamadas incluso cuando se realiza cambio de celda o de sector. GSM TDMA utiliza handoff forzado, el cual trae como resultado algunas veces la caída de las llamadas. CDMA utiliza handoff suave entre celdas y handoff más suave entre sectores de la misma celda suministrando total transparencia a los usuarios ya que al menos una celda mantiene contacto en todo momento, sin la existencia de retardos causados por el efecto "ping-pong" entre celdas, mejorando la calidad de voz y datos mientras sucede el handoff. Debido a esto la tasa de caída de llamadas es mucho más pequeña que en GSM TDMA.

CDMA emplea control de potencia del enlace ascendente y descendente para asegurar la calidad de voz mientras minimiza la potencia de salida y los niveles de ruido resultantes. Las redes CDMA monitorean la relación señal a ruido SNR (Signal to Noise Ratio) y la tasa de error de bit BER (Bit Error Rate).

Con el fin de asegurar continuidad en la llamada en GSM TDMA, tanto el móvil como la celda mantienen un nivel de potencia de transmisión más alto que el requerido. Esta aseveración ayuda a prevenir la caída de llamadas cuando el móvil se mueve en un área sombreada o experimenta una caída momentánea de la SNR. La potencia total incrementa el ruido en el sistema y descarga la unidad de batería de abonado más rápidamente.

Los sistemas GSM TDMA mantienen la calidad de la señal a costo de una potencia promedio de transmisión del móvil de 200 mW que es relativamente alta. Los sistemas CDMA con control de potencia usan una potencia promedio de transmisión del móvil de aproximadamente 2mW.

La naturaleza digital de GSM suministra seguridad mejorada con respecto a AMPS pero la tecnología CDMA tiene características de seguridad mucho más avanzadas las cuales

son soportadas por su diseño realizado con cerca de 4.4 trillones de códigos, lo que permite eliminar virtualmente la clonación y otros tipos de fraudes. CDMA mezcla y codifica conversaciones para transmitir las por medio de la interfaz de radio, suministrando un alto grado de seguridad y permitiendo una transmisión más inmune al crosstalk.

Se puede ver claramente analizando la Tabla 2.2 que la tecnología CDMA es la que posee mayor capacidad, además de la eficiencia en cuanto al uso del espectro ya que el factor de reuso es uno, lo cual implica una reducción en costos para el operador por requerir un menor número de portadoras. La capacidad máxima por BTS en redes CDMA es tres veces mayor que la capacidad ofrecida por la tecnología GSM, y es el doble de la ofrecida por la tecnología TDMA, lo cual refleja ventaja en cuanto a costos puesto que CDMA requiere un menor número de BTS en el diseño e implementación de una red móvil.

	CDMA 3 SECTORES	GSM 3 SECTORES	TDMA 3 SECTORES	AMPS 3 SECTORES
No de sectores/BTS	3	3	3	3
No de elementos de canal HW por sector/portadora	32	8	24	24
No. Máximo de portadoras	8	50	333	333
Ancho de banda de portadora en MHz, bidireccional	2.50	0.40	0.06	0.06
Canales de tráfico efectivos por portadora por sector	14	7.5	3	1
No. Máximo de portadoras por BTS	7	49	332	332
Factor de reuso de frecuencia	1	12	21	21
Capacidad máxima por BTS	294	91	142	47

Tabla 2.3. Comparación en cuanto a capacidad de las tecnologías CDMA, GSM, TDMA y AMPS.

Fuente: <http://www.frecuenciaonline.com/espanol/index.php>

2.4.2.1. Vocoders

A continuación se explica el papel de los vocoders para el mejor entendimiento de calidad de las tecnologías explicadas.

El rol que presenta la codificación de voz (speech coding) es priméramente determinar una buena calidad en la transmisión de voz a la más baja tasa de bit posible al menor costo. La relación entre la calidad de la voz lograda y el ancho de banda que se consume ha sido de enorme interés en el procesamiento de señales, multimedia e industrias de comunicación.

La codificación de voz se lleva a cabo generalmente para uno de dos propósitos: reducir la cantidad de memoria requerida, o reducir el ancho de banda necesario para transmisión. Los nuevos codificadores de voz se basan en avances de algoritmos así como de fuentes de cómputo de alto nivel para así entregar una mejor calidad de voz y al mismo tiempo permitir la utilización de la misma frecuencia por varios usuarios, reduciendo costos. La complejidad en los algoritmos provoca retrasos en la voz debido al hecho de que tomará más tiempo codificar y decodificar un segmento; retrasos mayores a 100 ms pueden ser considerables para el usuario. El retraso se puede minimizar mediante el uso de procesadores PDS más rápidos, sin embargo estos son más caros y disipan más potencia.

La razón de transmisión baja se relaciona con la inmunidad de pérdidas en la transmisión para codificadores de baja razón y no para otros ya que un error en la transmisión tendría un fuerte impacto en la calidad de voz del receptor. Para proteger la información se utiliza la codificación en la transmisión y el "block interleaving" el cual se puede utilizar para prevención de pérdidas por ráfagas de bits.

Los codificadores de voz se pueden dividir en dos categorías básicas: los de forma de onda y vocoders. Los codificadores de forma de onda preservan la forma de onda en el tiempo de la señal, por lo que comprimen todo tipo de señal. Hay técnicas que operan en la forma de onda en el dominio del tiempo tal como PCM (pulse code modulation), DPCM (Diferential Pulse Code Modulation), ADPCM(adaptive DPCM), DM (Delta Modulation), CVSDM (Continously Variable Slope Delta Modulation) y APC (Adaptive Predictive Coding). Otras técnicas, tal como la codificación de sub-banda(SBC), opera sobre la señal en el dominio de la frecuencia, aunque codifican cualquier tipo de señal, la compresión de voz alcanzada por estos métodos es mínima. Los vocoders mantienen una muy buena economía in la tasa de bit de transmisión y son en general más complejos, logran una

mucha mejor compresión ya que toman en cuenta la manera en la que las palabras se hablan y se escuchan.

Los vocoders son una clase de sistemas de codificación que analizan la señal de voz en el transmisor, transmiten los parámetros derivados del análisis y sintetizan la voz en el receptor usando esos parámetros. Los vocoders son en general mucho más complejos que los codificadores de de forma de onda y desarrollan mucho más economía en la tasa de bit de transmisión, aunque son menos robustos y su desempeño tiende a ser muy dependiente de la voz del usuario. El vocoder más popular es el linear predictive coder (LPC), otros vocoders son: channel vocoder, formant vocoder, cepstrum vocoder y voice excited vocoder.

Los vocoders caracterizan el proceso del "speechmaking" como un modelo dinámico, como el sistema de la siguiente figura.

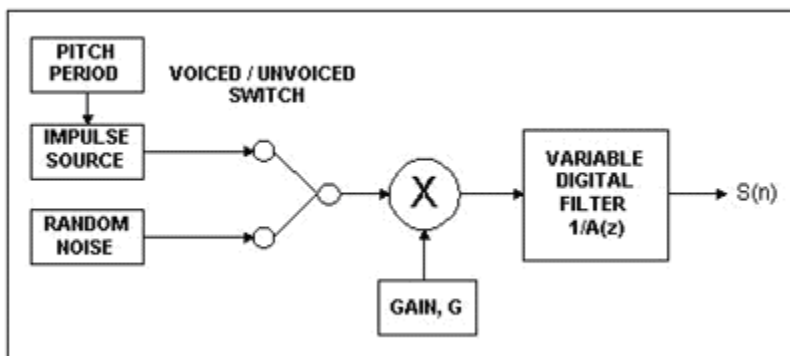


Figura 2.2. Proceso Speechmaking del vocoder

Fuente: http://portalgsm.com/documentacion_extendida/100_0_17_0_C/

Al hablar, el aire que viene de los pulmones pasa por la traquea hacia las cuerdas vocales y se modula por la lengua, boca, labios y dientes. Hay básicamente dos categorías del habla: voiced y unvoiced. La primera de éstas (voiced speech) es cualquier sonido de voz que provoque excitación de pulso cuasi-periódico de las cuerdas vocales. El segundo tipo de habla (unvoiced speech) no toma en cuenta a las cuerdas vocales y no es periódica, más bien se consideraría como aleatorio. Los vocoders analizan la voz periódicamente y determinan los coeficientes de filtrado, ganancia del sistema, periodo de tonos y modelar la excitación como pulsos o como ruido. Hay muchas diferentes formas para determinar y transmitir estas características. La voz se divide en tramas las cuales van del orden de 10-

30 ms. Cada trama se analiza y un conjunto de parámetros se extraen, estos parámetros son después transmitidos al receptor dónde se usan para sintetizar la voz. El canal del vocoder caracteriza la voz mediante el muestreo del espectro de frecuencia de esta.

NOTA: *GSM y CDMA operan independiente de la banda de la banda en que se encuentren.*

2.5. CDMA y GSM en una banda de (400- 500) MHz.

A continuación se muestran las características de las Tecnologías CDMA450 y GSM400. Conociendo la comparación en Calidad y Cobertura de GSM y CDMA como tecnologías de telefonía móvil celular, que se utilizan actualmente en zonas urbanas y de gran densidad poblacional, con diferentes servicios de multimedia logrando anchos de banda muy importantes, se procede a mencionar estas tecnologías en la banda comprendida entre 400 - 450 MHz.

Cuando se trabaja con CDMA450 o GSM400 se habla abiertamente de telefonía móvil celular para zonas rurales, debido a la gran penetración que poseen las longitudes de ondas tan grandes (aprox. 0.6mt) con que trabajan estas tecnologías. Una de las características atractivas de utilizar bandas de menor frecuencia, tal como la banda de 450 MHz, independiente de la ventaja de propagación que representa una significativa reducción del equipamiento de infraestructura y de los gastos operativos debido a la ganancia en cobertura que ofrece trabajar en estas frecuencias. Se pueden proveer servicios inalámbricos robustos, avanzados, confiables y económicos destinados a áreas rurales o a áreas geográficamente dispersas con baja densidad donde mayores instalaciones de infraestructura resultarían económicamente ineficientes o demasiado costosas para instalar.

2.5.1. GSM400.

El Instituto Europeo de Estándares en Telecomunicaciones (ETSI) empezó estandarizar en una nueva banda de frecuencia, GSM400 que empezó a partir de abril de 1998; un

grupo de interés digital (DIG Digital Interest Group) fue conformando la investigación una opción de migración abierta a los operadores de NMT 450.

Durante 1998 el DIG hizo detalladamente la especificación de requerimientos con la cual cada operador debe cumplir. El grupo DIG investigo tres posibles tecnologías como potencial versión digital de NMT y en octubre de 1999, los resultados de la investigación fueron presentados ante la mayoría de los operadores de NMT, expresando su preferencia por la solución GSM400.

La plataforma de conmutación completa y la infraestructura de la estación base de control seguirán siendo las mismas cuando las nuevas capacidades de GSM400 sean incluidas. Como siempre, el Nuevo software requerirá algunos elementos de red. Nokia y Ericsson esperan que GSM400 este totalmente estandarizada en ETSI como parte del estándar GSM para poner a disposición la fabricación de elementos básicos.

Como resultado de esto GSM400 pasara a formar parte del estándar GSM, el cual esta continuamente evolucionando como parte del estándar GSM (900/1800). Esta evolución resulta en una fase de acercamiento de los requerimientos de servicio de IMT-2000.

El Instituto Europeo de Normas de Telecomunicación (ETSI) estableció una norma regional para la aplicación del Sistema Global para Comunicaciones Móviles (GSM) en la banda de 400 MHz. La utilización de frecuencias en la banda 400 MHz, en lugar de las bandas 900/1800 MHz permite que cada estación de base cubra una zona más amplia (teóricamente), como se ilustra en la figura. La cobertura de una zona amplia se adapta mejor a la baja densidad demográfica de las poblaciones rurales, dispersas en una zona extensa.

Alcance comparativo de GSM 400/900/1 800

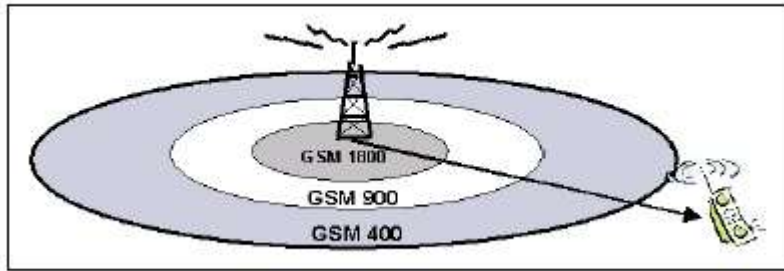


Figura No 2.3. Alcance comparativo de GSM 400/900/1900. *fuelle:www.gsmworld.com*

El compromiso de Nokia y Ericsson para desarrollar GSM400 fue adquirido oficialmente en la llamada conferencia GSM400 en Budapest, Hungría en Septiembre de 1999. Nokia y Ericsson suministraran prototipos de equipo para hacer posible la llamada. Este prototipo incluirá la banda dual de teléfonos GSM900/1800, radio base estación y controladores de la estación base.

Prototipos tri-bandas GSM 400/900/1800 portables con HSCSD y soporte WAP. Según la información presentada por Ericsson a la UIT, el GSM 400 cubre la misma zona que el GSM 900, utilizando aproximadamente la mitad del número de sitios celulares. Una célula típica en la banda de 400 MHz tiene un radio de 40 Km cuando se utilizan unidades de teléfonos móviles de 2 vatios. Si se utilizan antenas direccionales o con ganancia superior, o teléfonos móviles con un tipo de energía superior, se puede obtener un alcance superior, según las condiciones geográficas y de propagación.

El GSM 400 ocupa bandas de frecuencias, indicadas en la siguiente figura, que antiguamente estaban atribuidas también en Europa y en muchos sitios a los sistemas telefónicos móviles nórdicos (NMT) convencionales.

Atribución de frecuencias	Banda de GSM 450: 450,4-457,6 MHz en enlace ascendente 460,4-467,6 MHz en enlace descendente Banda de GSM 480: 478,8-486 MHz en enlace ascendente 488,8-496 MHz en enlace descendente
Espectro de frecuencias	7 MHz
Separación en dúplex	10 MHz
Espaciamiento de portadora	200 kHz
Cobertura	Hasta varias docenas de km

Figura No 2.4. Especificaciones técnicas de GSM400 en la frecuencia de trabajo.

Fuente: www.itu.int/itudoc/gs/subscirc/itu

2.5.1.1. Cobertura.

Se prevé que los sistemas GSM 400 tengan capacidades para extender el alcance de la cobertura de señales vocales y datos de alta velocidad en relación con los sistemas GSM actuales. Entre las especificaciones del GSM 400 pueden mencionarse: soporte de las propiedades GSM fase 2+, tales como servicio general de radio transmisión de paquetes (GPRS) así como datos mejorados para evolución GSM (EDGE). El servicio GPRS aplica por primera vez en la tecnología GSM la conmutación por paquetes, lo que permite a los usuarios enviar o recibir datos a velocidades hasta de 115 Kbps. EDGE aumenta la velocidad de datos hasta 384 Kbps en toda la infraestructura GSM existente, utilizando nuevas técnicas de modulación. Sin embargo, la distancia de la estación de base seguirá siendo un factor importante en la prestación de servicios de datos de alta velocidad, ya que la máxima velocidad de datos posible disminuye cuanto más lejos esté situado un terminal de la correspondiente estación de base.

Según la información presentada por Ericsson a la UIT, el GSM 400 cubre la misma zona que el GSM 900, utilizando aproximadamente la mitad del número de sitios celulares. Una célula típica en la banda de 400 MHz tiene un radio de 40 Km cuando se utilizan unidades de teléfonos móviles de 2 vatios. Si se utilizan antenas direccionales o con ganancia superior, o teléfonos móviles con un tipo de energía superior, se puede obtener un alcance superior, según las condiciones geográficas y de propagación.

La operación en la banda de 400MHz ofrece una ventaja en cubrimiento sobre otros sistemas que operan en altas frecuencias (sistemas GSM800 y GSM1900), como bajas pérdidas de atenuación en la señal. Debido a esta característica de propagación, GSM400 ofrece una cobertura más eficiente que las frecuencias altas de GSM. GSM400 cubre la misma área que GSM1800 con un quinto del número de estaciones y la misma área de GSM900 con la mitad de estaciones. El rango potencial por célula es de 120Km.

El radio de área de cobertura de una BTS (Estación Base Terrena) GSM400 excede el radio de cobertura de GSM900 y de GSM1800. El incremento de área de cobertura brindaría a los operadores de GSM400 una ventaja en la implementación y penetración de datos a alta velocidad, el cual forma parte de la evolución de datos GSM.

2.5.1.2. Capacidad.

GSM 400 soportada la estandarización ETSI aumentando las características presentes e iniciando soporte para GSM900/1800

- Salto de Frecuencia
- Transmisión Discontinua
- MS y BTS Control de Potencia
- Multitasa Adaptativa

GSM400 requerirá de menor número de estaciones base, reduciendo el tiempo de instalación, lo cual reducirá el tiempo de mercadeo, posibilitando el ingreso rápido de nuevos operadores al mercado. También la gran cobertura resulta ser también atractivo para los usuarios, ambas características fomentando la implementación de GSM400.

En julio de 2000, Ericsson y Nokia habían anunciado planes para producir sistemas celulares GSM 400, mientras que Benefon había comunicado su intención de producir aparatos telefónicos multibandas. La infraestructura de sistema estaría disponible en el

comercio, según lo previsto, a principios de 2001. Para el cuarto trimestre de 2000 los se realizaron ensayos de los prototipos de aparatos telefónicos GSM 400/900/1800 en tres bandas, con capacidad para soportar datos conmutados en circuitos de alta velocidad y protocolos de aplicación inalámbricos. Se espera que en un futuro los aparatos telefónicos estén disponibles en cantidades comerciales. También se han planificado los ensayos de infraestructura de redes, que estarían en el comercio.

2.5.1.3. Características Técnicas.

A continuación en la siguiente tabla se muestra las características más importantes de GSM en la banda de 400 MHz que se diferencian del trabajo de esta tecnología en otras bandas, en la cual se menciona asignación y espectro de frecuencias, cobertura entre otras.

GSM DETALLES TÉCNICOS	
Asignación de Frecuencias	GSM 450 Band: 450.4 - 457.6 MHz uplink 460.4 - 467.6 MHz downlink
	GSM 480 Band (ext.): 478.8 - 486 MHz uplink 488.8 - 496 MHz downlink
Espectro de Frecuencia	7 MHz
Separación Duplex	10 MHz
Espaciamiento de Portadora	200 kHz
Cobertura, Rango Extendido	Up to 120km
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Soporte fragmentado para el uso de la banda de frecuencia [MT450 frequency variants] ➤ Banda -Baja GSM – algunas características, servicios y evolución. 	

Tabla 2.4. Detalles técnicos GSM400 [18]

Fuente: www.itu.int/itudoc/gs/subscirc/itu

2.5.2. CDMA450

CDMA450 abarca, en concreto, la misma zona que un sistema CDMA a 850 MHz utilizando aproximadamente la mitad del número de localizaciones de células. En

aplicaciones en las que es necesaria una cobertura muy amplia, un ajuste de soporte lógico en los parámetros de temporización permite alcanzar hasta 180 km en condiciones favorables.

Es muy importante señalar que la tecnología CDMA puede adaptarse fácilmente en la estructura actual de bandas y licencias que se utiliza en este espectro. El plan de bandas de frecuencias para CDMA450 que se muestra en la siguiente tabla es compatible con las atribuciones existentes para NMT-450 y proporciona unos 2 * 4,5 MHz al titular de la licencia. Esta atribución dará soporte a tres portadoras de 1,25 MHz para CDMA (con las bandas de guarda apropiadas). No se necesita, por tanto, espectro adicional ni una nueva canalización. Además, no es preciso gastar tiempo ni dinero en efectuar una nueva atribución de espectro ni en liberar las bandas ocupadas por otros servicios.

DESIGNADOR DEL SISTEMA	SUBCLASE DE BANDA	BANDAS DE FRECUENCIA DE TRANSMISION	
		ESTACIÓN MÓVIL	ESTACIÓN DE 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
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 2.5. Plan de frecuencias CDMA450. [18]

Fuente: http://www.itu.int/dms_pub/itu-d/opb/stg/D-STG-SG02.18-2002-PDF-S.pdf

La tecnología CDMA permite realizar de forma muy provechosa las interfaces aéreas inalámbricas que se utilizan en este espectro, ofreciendo a los operadores y a sus usuarios finales mejoras considerables en cuanto a:

- capacidad
- cobertura
- claridad vocal
- calidad de la llamada
- privacidad y seguridad
- consumo de potencia

- aspectos económicos de la infraestructura
- servicios mejorados/servicios de datos
- acceso inalámbrico fijo

Gracias a estas mejoras, los operadores de las zonas rurales podrán prestar servicios de mayor calidad a sus abonados. Se dispondrá, por ejemplo, de servicios de apoyo a la atención médica y de acceso a Internet, serán posibles los servicios educativos y las pequeñas empresas locales podrán acceder al mercado mundial.

2.5.2.1. Cobertura

CDMA450 sobrepasa considerablemente las capacidades de cobertura de los sistemas CDMA que trabajan en frecuencias superiores (sistemas de telefonía móvil celular en la banda de 800 MHz y superiores). Los valores de la pérdida de trayecto máxima que puede alcanzarse en redes CDMA450 que funcionan a su capacidad de diseño con móviles de 200 milivatios son aproximadamente 2-3 dB. Esto da lugar a una cobertura de células 100% mayor que la lograda en redes que trabajan en frecuencia de 800 MHz.



Figura No. 2.5. Cobertura CDMA450 (no a escala). *Fuente: www.huawei.com*

2.5.2.2. Comportamiento radioeléctrico.

Los resultados de una extensa simulación del comportamiento de entornos radioeléctricos típicos demuestra que la última versión de la tecnología CDMA se puede aplicar utilizando bandas más bajas hasta llegar a la de 450 MHz sin que se produzca pérdida de calidad alguna.

2.5.2.3. Capacidad

Tanto en el caso de redes completamente digitales que ocupan toda la banda como en el de funcionamiento con una sola portadora, la capacidad de CDMA450 rebasa considerablemente el requisito típico de 60 Erlangs por sitio. La capacidad CDMA con una sola portadora será de 79,3 Erlangs por sitio; con dos portadoras de 158,4 Erlangs por sitio; y con tres portadoras, la capacidad disponible será de 237,6 Erlangs por sitio.

Parametros	CDMA450
Erlangs por sector por portadora	26
Total de Erlangs por sector	79
Total de Erlangs Abonados por Sitio	237
Abonados por Sitio	7900

Tabla 2.6. Capacidad de CDMA450 en Erlangs

Fuente: www.itu.int/itudoc/itu-d/publicat/foc_gr7-es.

2.5.2.4. Calidad vocal

Tanto el códec de velocidad variable mejorado (EVRC, *enhanced variable rate codec*) a 8 kbit/s IS-127 como el códec vocal a 13 kbit/s IS-733 proporcionan en condiciones de ausencia de cualquier perturbación una calidad vocal mayor que la de las señales vocales a 32 kbit/s. Ambos códecs proporcionan también una calidad vocal superior a la de la modulación por impulsos codificados (PCM, *pulse code modulation*) a 64 kbit/s. El retardo medido con estos códecs vocales es inferior a 60 ms.

La figura siguiente ilustra en forma gráfica las notas medias de opinión (MOS, *mean opinion scores*) con un códec de velocidad variable mejorado (EVRC) empleado en redes CDMA450 en comparación con la MOS de codificadores vocales tradicionales utilizados en redes fijas de cobre. La prueba se realizó en presencia de un volumen de ruido de fondo en disminución (de 10 dB a 30 dB). Las características de supresión de ruido proporcionadas con el EVRC mejoran la calidad vocal que percibe el oyente, con lo cual el

EVRC puede obtener siempre una nota mejor que cualquiera de las normas de codificación de redes fijas de cobre.

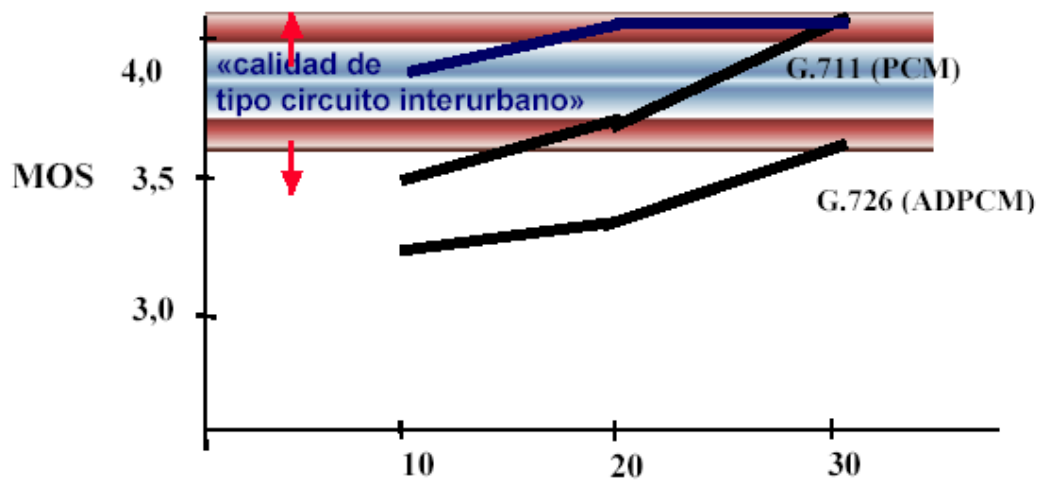


Figura No 2.6. Relación señal Acústica/Ruido. Fuente: http://www.itu.int/itu-d/study_groups/sgp_2002-2006/sg2/documents

2.5.2.5. Compatibilidad RF

Se ha demostrado que la compatibilidad RF no plantea ningún problema. En particular, la coexistencia entre sistemas digitales y analógicos no presenta ninguna dificultad en sistemas con una superposición digital del 100% (sitios digitales cubiertos con sitios analógicos). En sistemas con superposición fraccionaria, es necesario seguir ciertas directrices sobre distancias para tener la seguridad de que los terminales no funcionan en modo CDMA estando demasiado alejados de las estaciones de base CDMA.

En sistemas con cobertura CDMA450 sobre una parte de la zona de servicio, es necesario seguir ciertas directrices sobre zonas de guarda para tener esa misma seguridad respecto a esos mismos terminales. Las directrices sobre zonas de guarda no son más restrictivas que las que se aplican con cualquier tecnología digital.

2.5.2.6. Servicios del bucle local inalámbrico

Los sistemas CDMA450 sustentan también los servicios fijos de bucle local inalámbrico (WLL, *wireless local loop*).

2.5.2.7. Soporte de antena inteligente

Numerosas tecnologías de antena inteligente que se están desarrollando actualmente pueden mejorar la cobertura y la capacidad, ya de por sí superiores, de los sistemas

cdma450. No obstante, se piensa que las mayores coberturas y capacidad derivadas del empleo de la tecnología CDMA450 sin antenas inteligentes retardará en gran medida la necesidad de adoptar la tecnología de antena inteligente. Los sistemas de antena de haces conmutados pueden aumentar incluso su capacidad. Además, se incluye un piloto auxiliar para dar pleno soporte a la formación de haces y a las aplicaciones de antena inteligente.

2.5.2.8. Seguridad y prevención del fraude

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

2.5.2.9. Características Generales

"CDMA450 es una tecnología 3G que utiliza el interfaz 2000 del aire del 1X de CDMA. Las ventajas principales de esto son:

- las señales 450MHz dan lugar a una pérdida más baja de la propagación y así que pueden rendir a una cobertura más amplia que frecuencias más altas en el mismo CDMA 2000 grupos
- Una cobertura más amplia significa que los hasta 80% menos estaciones bajas están requeridos para la red y el coste de desarrollo de la infraestructura sea así mucho más bajo
- La cobertura para CDMA 450 es los hasta 50 km, mientras que en la comparación W-CDMA tiene una gama de la propagación de los solamente 2km
- CDMA450 tiene velocidades de datos el acercar de 2.4Mbps (Huawei ha alcanzado 1.9Mbps en ensayos) y puede apoyar una gama de servicios por ejemplo empujar-a-habla, los servicios localización-basados y UIM, la tarjeta compatible del G/M SIM
- Con los canales estándares 1.25MHz de CDMA's la venda 450MHz da capacidad excelente
- La ayuda de UIM significa que CDMA 450 que vaga debe también ser posible en el futuro

- Es una manera rentable para los países con áreas rurales grandes traer los servicios 3G a la mayoría de su población
- CDMA450 es también completamente compatible con las trayectorias futuras de la mejora por ejemplo Ev- 1X y 1X de Ev-dv” [17]

2.6. Desarrollo para CDMA450.

Hay un creciente impulso alrededor del mundo en la banda de 450 Mhz puesto de manifiesto por el creciente número de pruebas, proyectos piloto y redes comerciales terrestres inalámbricas.

La tecnología tiene apoyo para utilizar una variedad de dispositivos inalámbricos incluyendo microteléfonos inalámbricos, teléfonos con cámara, terminales fijos, módems fijos, asistentes digitales personales (PDA) y tarjetas para PC para uso en computadoras portátiles y de bolsillo. Entre los diferentes fabricantes de terminales se puede mencionar a AnyDATA, Axesstel, Compal, Giga Telecom, GTRAN, Huawei, Hyundai Syscomm (Curitel), Synertek, Topex y ZTE [16].

2.6.1. Chipsets y Soluciones de Software para CDMA450.

La tecnología CDMA450, ofrece a una solución completa de chipsets que incluye los componentes de radiofrecuencia (RF), el chipset de banda base (Modem de Estación Móvil -MSM), el dispositivo de gestión de potencia (PM) y los habilitadores de aplicación. Una de las razones clave por las que los dispositivos CDMA en la banda de 450MHz llegan a ser más económicos es que los proveedores pueden aprovechar los desarrollos en la tecnología de radiofrecuencia como la tecnología radioOne o de Frecuencia Intermedia Zero (ZIF).

La tecnología de conversión directa radioOne [16] revoluciona los productos de radiofrecuencia CDMA al eliminar la necesidad de la conversión de señal de frecuencia intermedia (IF). Con la tecnología radioOne, la señal de RF es convertida directamente a la banda base y la señal de banda base es convertida directamente a RF. Debido a que la etapa IF se elimina, no se necesitan más los grandes filtros de IF y de Onda Acústica Superficial (SAW). La solución radioOne disminuye el número de componentes necesarios

en el terminal y por lo tanto, ahorra espacio en la plaqueta, reduce el tamaño del terminal, disminuye el costo de materiales (BOM) y permite factores de forma más compactos para los productos inalámbricos. El espacio de placa adicional permite la implementación de nuevas capacidades en el teléfono móvil sin incrementar el tamaño. Presenta un beneficio clave que simplifica el diseño de chipsets multibanda y multimodo.

2.6.2. Los Componentes de Radiofrecuencia de CDMA450

Los chipsets CDMA450 para RF se componen de un receptor de radio frecuencia (RFR) y un transmisor de radiofrecuencia (RFT) que operan en la Banda Clase 5 (Bloques A-H) del estándar CDMA2000. Actualmente, los fabricantes pueden elegir entre dos receptores: 1) el receptor RFR6175™ que utiliza la tecnología ZIF y posee un receptor del Sistema Global de Posicionamiento (GPS) integrado para la operación de gpsOne®, y 2) el receptor RFR6170 que es similar al RFR6175 pero sin el receptor GPS integrado. El RFT6170 es el transmisor de CDMA450.

2.6.3. Componentes de Banda Base CDMA450 (Modém de Estación Móvil – MSM).

Los chipsets de CDMA450 están basados en la arquitectura radioOne, la cual permite varias ventajas mencionadas anteriormente, como la reducción del 50 % del costo de materiales (BOM), menor tiempo de desarrollo del terminal y una calibración más simple de la etapa. Las soluciones de software y chipsets de la familia MSM6xxx también incorpora el conjunto de aplicaciones Launchpad, que incluye el CMX (Extensiones Compacta de Medios) para la creación de tonos de llamada basados en MIDI, la tecnología de localización gpsOne y la capacidad de utilizar el Módulo de Identidad de Usuario Removible (R-UIM).

El beneficio fundamental para los operadores sigue siendo la posibilidad de dar servicios inalámbricos avanzados en una banda de frecuencia con mejor propagación que les permite alcanzar los requisitos de servicio universal, ofreciendo a los consumidores la variedad de desde equipos básicos a dispositivos avanzados que requieran.

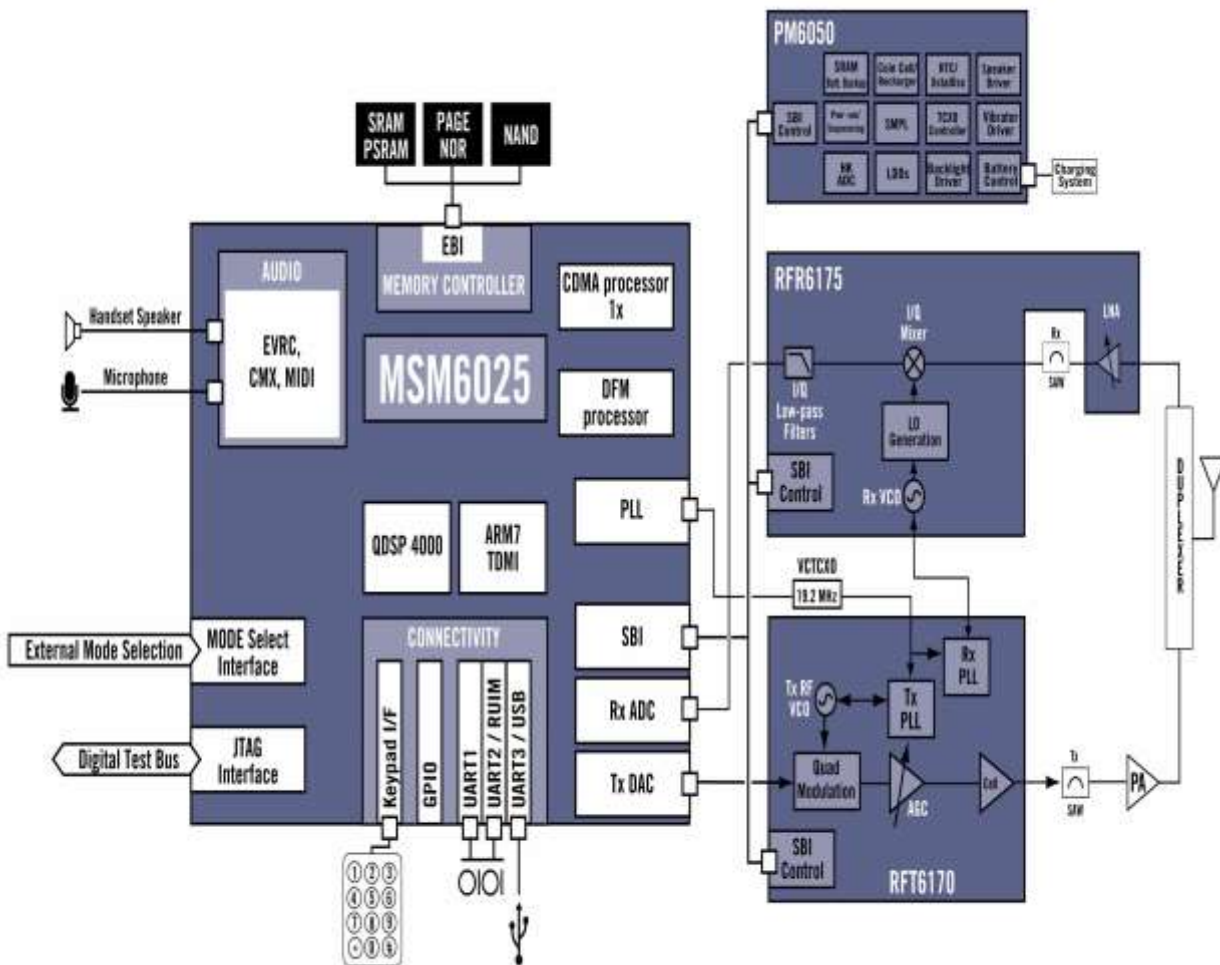


Figura No 2.7. Diagrama en Bloque del Chipset CDMA450

Fuente: www.dgp.tsct.gov.mx/fileadmin/ccp2/servicios/doc_537-04_c.1

2.6.4. Aplicaciones Habilitadas.

Esta plataforma ofrece a los operadores inalámbricos y a los fabricantes una solución económica y escalable para facilitar las aplicaciones y servicios de la próxima generación que incorporan multimedia, localización de posición, conectividad, almacenamiento e interfase de usuario personalizado. Entre los ejemplos de aplicaciones incluimos posicionamiento de alta precisión, video conferencia, video streaming, juegos animados en colores, música con calidad equivalente a disco compacto (CD) y protectores de pantallas, tonos de llamadas y mensajes animados.

➤ **Sistema de Localización de Posición. *gpsOne***

La tecnología de localización de posición *gpsOne* es un Sistema híbrido de Posicionamiento Global Asistido (AGPS), que mejora el sistema GPS regular, y provee precisión y resultados en todo tipo de terreno combinando los datos de los satélites GPS y la red CDMA para localizar los teléfonos móviles en ambientes internos y externos. *gpsOne* puede ofrecer posicionamiento inalámbrico preciso en todo tipo de terreno.

➤ **Brew**

El Binary Runtime Environment for Wireless (BREW) es un ambiente de aplicación para sistemas inalámbricos. Los usuarios, operadores, proveedores de contenido y fabricantes de terminales utilizan a BREW de diferentes maneras. Para los usuarios, BREW ofrece una experiencia sencilla en la compra de aplicaciones. Mediante la Tienda Móvil BREW (BREW Mobile Shop), los suscriptores pueden descargar aplicaciones PDA - incluyendo aplicaciones de salud y educación - directamente en sus terminales con precios establecidos claramente. La tienda móvil BREW también acepta las plataformas Palm OS, Microsoft Pocket PC, entre otras. Para los operadores BREW ofrece la selección de aplicaciones y negociación de precios con los desarrolladores en un mercado online. Para las agencias, los desarrolladores y los proveedores de contenidos. BREW también ayuda a facilitar el intercambio de aplicaciones a través de distintas regiones del mundo. Para los fabricantes de terminales, BREW provee el software residente y las herramientas de instalación y prueba, así como la asistencia técnica y los servicios de consultas para especificaciones de dispositivos, los planes de desarrollo y las características del producto.

➤ **Capacidades de Roaming: R-UIM**

La solución del sistema R-UIM contiene información del usuario y características de datos sobre una tarjeta inteligente removible cuyo tamaño es aproximadamente la mitad de una estampilla postal (similar a la tarjeta SIM). Una vez que los datos personales se almacenan en la R-UIM, la tarjeta puede retirarse y reinsertarse en un nuevo dispositivo, transfiriendo todos los datos personales al nuevo dispositivo sin volver a programar. La R-UIM es una solución de modo dual que puede almacenar las informaciones de la red GSM y CDMA sobre una única tarjeta. La R-UIM está basada en el estándar IS-820, acepta todos los protocolos de autenticación del estándar CDMA y ofrece capacidades de almacenamiento que van desde 300 bytes hasta 32 kilobytes.

- otras aplicaciones: componente de gestión de potencia, mejoras de voz, Bluetooth, mejoras de audio.

2.7. Algunas ventajas y beneficios de CDMA450 con respecto a GSM400

➤ **Información paquetizada.**

Las redes basadas en CDMA están contruídas bajo protocolos basados en IP. En otro tipo de redes, el añadir equipo que soporte paquetes de datos es costoso y requerirá también equipo terminal que lo soporte. El estándar CDMAONE ya incorpora en sus terminales los protocolos TCP/IP (Transfer Control Protocol/Internet Protocol) y PPP (point to point protocol).

➤ **Seguridad y privacidad.**

La técnica de espectro extendido es muy utilizada para aplicaciones militares donde la seguridad de las conversaciones y protección de los datos es importante. En un ambiente de negocios también es vital los aspectos de seguridad y privacidad. Diseñado con alrededor de 4.4 trillones de códigos, CDMA virtualmente elimina la clonación de dispositivos y es muy difícil capturar y descifrar una señal.

➤ **Control del nivel de potencia**

El control de la potencia es otro beneficio de los sistemas de CDMA. Empleando técnicas de procesamiento de señales, corrección de error, etc., CDMA supera el problema de la potencia con una serie de ciclos de retroalimentación. Con un control automático de la ganancia en las terminales y una supervisión constante del nivel de señal a ruido y tasas de error en la radio base, picos en el nivel de potencia son regulados con circuitería electrónica que ajusta la potencia a una razón de 800 veces en un segundo. Esto tiene gran repercusión en el ajuste dinámico del tamaño de las celdas. En una celda congestionada, la potencia de todas las terminales se elevaría creando interferencia mutua. En el margen, las transmisiones a alta potencia inundarían a las celdas vecinas donde estas podrían ser tomadas por la radio base adyacente. En una celda con poca densidad, la potencia es tan baja que la celda se reduce efectivamente, transmitiendo sin interferencia hacia las celdas vecinas mejorando el desempeño de las mismas. Este tipo de ajustamiento dinámico en el

tamaño de las celdas es imposible en TDMA, donde las celdas adyacentes utilizan diferentes frecuencias. Se ha comprobado en diversos estudios, que CDMA es ciento de veces más eficiente en potencia que TDMA.

➤ **Bajo consumo de potencia y baterías más duraderas en las terminales.**

Debido al sistema de retroalimentación de CDMA que mantiene la potencia al más bajo nivel permisible, las terminales consumen menos potencia y son más pequeñas y las baterías de CDMA duran mas tiempo que las de TDMA.

➤ **Amplia cobertura con pocas celdas** (mencionada en el numeral 2.4.1.).

➤ **Pocas llamadas caídas.**

La transferencia de celdas (handoff) de CDMA, método para transferir llamadas entre celdas reduce inteligentemente el riesgo de interrumpirlas durante una transferencia. El proceso conocido como transferencia suave o transparente (soft handoff) entre celdas conduce a pocas llamadas caídas ya que 2 o 3 celdas están monitoreando la llamada todo el tiempo. La transferencia entre celdas es transparente al usuario debido a que como todos los usuarios están utilizando el mismo espectro, es más fácil moverse de una celda a otra sin que el subscriptor sé de cuenta.

➤ **Resistencia a la interferencia, ruido del ambiente y multitrayectorias**

Las multitrayectorias en CDMA en vez de ocasionar problemas con la señal, la fortalece más. Esto conduce a una casi eliminación de la interferencia y desvanecimiento. Ambos, el ruido eléctrico de fondo y ruido acústico de fondo son filtrados al usar ancho de banda angosta que corresponde a la frecuencia de la voz humana. Esto mantiene al ruido de fondo fuera de las conversaciones. En TDMA por el contrario, por ser basada en el tiempo, las multitrayectorias son un problema. Señales que vienen de distintas trayectorias a desfasadas en el tiempo ocasionan que están interfieran a las ranuras adyacentes haciendo que se interfieran las llamadas y se caigan.

➤ **Implantación más rápida.**

Los sistemas CDMA pueden ser implantados y expandidos más rápidamente debido a que requieren de menos celdas. Pocas celdas significan para los operadores menor gasto de inversión y operación.

➤ **Ancho de banda en demanda.**

El canal de 1.25 MHz de CDMA provee un recurso común a todas las terminales en un sistema de acuerdo a sus propias necesidades, como podría ser voz, fax, datos u otras aplicaciones. En un tiempo dado, la porción de este ancho de banda que no sea usada por una terminal, estará disponible para otro usuario. Debido a que CDMA utiliza una porción grande de espectro repartida entre varios usuarios, provee flexibilidad en el ancho de banda para permitir servicios en demanda. Bajo TDMA donde los canales son fijos y pequeños, esto no es posible. En forma general, está comprobado que CDMA es de 3 a 6 veces más eficiente en ancho de banda que TDMA.

➤ **Compatibilidad hacia adelante y hacia atrás.**

Las terminales que funcionan bajo CDMA son compatibles con su versión antecesora. Una terminal de tercera generación, cdma2000 por ejemplo, es compatible con CDMAONE de segunda generación. La compatibilidad hacia adelante se realiza sustituyendo un simple chip en la terminal. Una terminal con CDMAONE puede actualizarse a CDMA2000, sustituyendo el únicamente el chip principal. Esto evita la compra de una nueva terminal para acceder a los nuevos servicios.

➤ **Calidad de voz mejorada.**

Sofisticados esquemas de control y corrección de error hace que las tramas de información sean interpretadas correctamente. Por otro lado, sofisticados codificadores de voz (vocoders) la codifican a altas velocidades y reducen el ruido de fondo. La transferencia suave entre celdas es otro factor que eleva la calidad de la voz en una conversación. El control preciso de los niveles de potencia asegura que todas las terminales cercanas al nivel óptimo provean la calidad de voz más alta posible

➤ **Investigación**

Mayor desarrollo de la tecnología CDMA450 a nivel de Investigación y desarrollo realizado por diferentes empresas a nivel mundial, desarrollando una entidad que se encarga de la estandarización realizada siendo una entidad independiente y miembro activo de la ETSI y de la ITU, que actualmente solo para la tecnología de CDMA450 (IA450.org – *Internacional Asociación 450*).

En un principio las pruebas realizadas en Rusia fueron satisfactorias para CDMA450 y los resultados de GSM400 no fueron los esperados en cuanto a capacidad y calidad. Esto debido a la técnica de acceso TDMA que utiliza.

2.8. Conclusión CDMA450 vs. GSM400.

Por lo visto anteriormente de estas dos tecnologías se escogió la opción de CDMA450 y porque esta tecnología tiene el mayor crecimiento entre estas dos y en cuanto a investigación tiene mucho más desarrollo y más participantes a nivel mundial, en más de 25 países, en Suramérica hay participación de esta tecnología en Argentina, Brasil, Chile y Perú, donde se presenta un difícil acceso a sus zonas rurales y suburbanas, así como en Colombia.

Las diferentes razones para abarcar estas regiones son la no presencia de las telecomunicaciones convencionales, grandes extensiones de tierra y región geográfica y topográfica bastante difícil.

Las actuales redes de telefonía móvil celular en CDMA450, tienen resultados muy satisfactorios y lo más importante prestando servicios de 3G.

La ventaja histórica de CDMA450 respecto a GSM400 comienza, en San Petersburgo Rusia, donde se realizaron las primeras pruebas para la evolución de NMT en la banda de 450 MHz, fueron exitosas en CDMA y presentaron muchos inconvenientes para GSM donde los operadores que realizaban la investigación abandonaron en un principio esta tecnología.

Como ya se ha mencionado que CDMA450 ha sido y es impulsando fuertemente a nivel mundial, es lo mas viable y razonable inclinarse hacia esta tecnología a la hora de obtener soporte tanto teórico como técnico, debido a los muchos proyectos de investigación y las redes implantadas de este tipo por varios operadores en telecomunicaciones a nivel mundial, sin dejar de un lado que el mayor desarrollo genera mayor economía

Por la cobertura que presentan estas tecnologías es más eficiente CDMA450 por el manejo de potencia, la capacidad y la inmunidad a la interferencia de ruido.

Otras Características importantes de CDMA450:

- Disponibilidad de espectro.
- Incentivos para telefonía Rural.
- Oportunidad de acceso universal.
- Posibilidad de Re-uso de la infraestructura.
- Capacidad Roaming de CDMA450 hacia las redes GSM, a bajo costo

NOTA: La investigación técnica de este capítulo se realizó con la investigación previa en dos trabajos de investigación.

- Análisis y Diseño de una red de tercera generación basada en CDMA2000 para la ciudad de Popayán. Universidad del Cauca, FIET.
- Edge – Opción tecnológica para la evolución de la red móvil celular de Colombia hacia una infraestructura de tercera generación.

3. DISEÑO DE UNA RED DE MOVIL CELULAR CDMA450, EN EL MUNICIPIO DE SILVIA, CAUCA

En este capítulo se pretende realizar el diseño de una red móvil celular en la banda emergente de 450MHz, en el municipio de Silvia; y de esta forma poder exponer el área de servicio, las capacidades y ventajas que este tipo de tecnología de red ofrece, con respecto a los operadores existentes en la región seleccionada para el diseño.

El diseño se desarrollara por medio de fases, dentro de las cuales se puede mencionar como primera medida los requerimientos y criterios de diseño, posteriormente se hace el estudio y análisis de la normatividad a tener cuenta para realizar el diseño, seguidamente se adopta un método de planeación que este acorde con las condiciones y necesidades del sistema, finalmente se procede a realizar el estudio de propagación, el dimensionamiento y configuración de los equipos.

3.1. Requerimiento

“Silvia se encuentra ubicada al oriente del departamento del Cauca, limitada por el Norte con los municipios de Caldono y Jambaló, por el oriente con los municipios de Páez e Inzá, por el sur con el municipio de Totoró, Piendamó y Caldono. Silvia está situada entre los 2° 47' 37" y los 2° 31' 24" de Latitud Norte y entre los 76° 10' 40" y 76° 31' 05" de Longitud al occidente del meridiano de Greenwich, sobre el flanco occidental de la cordillera central.

Está bañado por el río Piendamó, y alimentado con las quebradas el Cacique, Manchai, el Molino, entre otros y va a desembocar al río Cauca, principal vía fluvial de Colombia. Su geografía comunicada por vía carretable con los municipios de Piendamó (a una distancia de 28 Kmts), Totoró (a 18 Kmts), con Jambaló (a 24 Kmts) y con Páez (a 64 Kmts), en su mayoría por terreno destapado.

La cabecera municipal está ubicada entre el río Piendamó y la quebrada Manchai, a 2600 metros de altitud sobre el nivel del mar. Dista a 59 Kmts de la ciudad capital del departamento, Popayán.

El área territorial del municipio de Silvia es de 652.7 Kmts cuadrados según el Plan Básico de Ordenamiento Territorial del Municipio. El rango de altitud varía entre los 1800 y 3800 m.s.n.m. Desde el río Ovejas en límites con Caldóno, hasta la cima del cerro Porayatún ubicado entre los resguardos de Pitayó y Guambía.”[18]

“Según la última proyección hecha por el DANE, en el 2004 la población en el municipio de Silvia alcanzaría los 41236 habitantes, de los cuales 7129 (17.3%) habitan en la zona urbana y 34107 (82.7%) en la zona rural; el último dato sobre la proyección del crecimiento de la población del municipio de Silvia Cauca, se tendrá con los resultados del Censo nacional del DANE a mediados del 2006.

La actividad agrícola ocupa el primer renglón en la economía del municipio, con gran participación de la comunidad a partir de sus parcelas privadas las cuales producen cultivos del pan coger no solo para su propio consumo sino para la venta en los mercados local y regional.

La parcela donde se ubica la vivienda es trabajada por la familia en general aprovechando al máximo el terreno con productos como la cebolla, la papa, ullucos, ajo, habas y hortalizas, generando la proliferación del concepto del minifundio, lo que esquematiza un paisaje de gran colorido.

La ganadería es de manejo para el consumo familiar y la comercialización interna de quesos, mantequilla, yoghurt y demás subproductos.

La minería es mínima y solo es explotada la extracción del oro y la plata en pequeñas cantidades para el consumo personal en joyas y adornos de orden personal y poca comercialización.

El turismo se presenta en la actualidad como uno de los renglones más productivos para la comunidad, lo que ha generado la aparición de diversos establecimientos para la prestación de servicios gastronómicos, de hospedaje y de esparcimiento, gestándose un crecimiento espontáneo y el surgimiento de microempresas foráneas en detrimento de la comunidad misma.” [18]

A continuación se puede apreciar el municipio de Silvia, Cauca:



Figura 3.1 Mapa Municipio de Silvia

Fuente: www.teleagro.unicauca.edu.co/index.php?opc=11

Para nadie es un secreto, las necesidades de comunicación por las que atraviesan la gran mayoría de las poblaciones suburbanas y las zonas rurales de la geografía Colombiana.

Gracias a los avances tecnológicos y en especial a los encaminados hacia el cubrimiento de comunicaciones, en las regiones apartadas y olvidadas de la geografía. Se puede cubrir las necesidades de comunicación y mejorar la calidad de vida de sus habitantes.

La tecnología escogida es CDMA450, que es un sistema de comunicaciones de tercera generación, que facilita la interacción vocal y visual, búsqueda de información, transacciones y envío de mensajes de una manera directa e inmediata con cualquier persona, además también brinda servicios fijos de WLL por medio del cual por ejemplo: las escuelas y hospitales pueden acceder a Internet, todo esto a bajo costo.

En vista del requerimiento de comunicación y de servicios; en el Municipio de Silvia, Cauca se puede instalar una infraestructura de red CDMA450. Para ello se debe instalar la infraestructura de red así como también los equipos que conforman el núcleo de la misma.

3.2. Criterios Para El Diseño De La Red.

En el despliegue y la operación de una red móvil, la planificación y el dimensionamiento del acceso radio debe ser tratado como un aspecto clave. Haciendo un esfuerzo en una buena definición del escenario y en las actividades de planificación, los resultados se verán reflejados en la operación y en la optimización de la red radio.

La planificación de la red radio es un proceso de varias fases que tiene como objetivo la obtención de la localización de los emplazamientos de la red, así como su configuración para una determinada tecnología de acceso radio. En este proceso ha de garantizarse que se cumplan los criterios de capacidad, cobertura y calidad de servicio en el área de interés en la que se realiza el despliegue. Una vez desplegada la red radio, la fase de optimización complementa las labores de planificación, comprobando que en todo momento la red está dando las mejores prestaciones posibles en función del tráfico ofrecido.

“Cada decisión referente al diseño de una red se basa en cuatro criterios: cobertura, capacidad, relación C/I, y costo. La cobertura esta definida como el área (en Km²) a la cual se le presta el servicio. La capacidad es la habilidad para transportar tráfico (Erlangs hoy, bits en el futuro). C/I es un término usado comúnmente que hace referencia a la relación portadora interferencia, la cual se define como el radio de la señal que se espera para las señales no deseadas. El costo es definido por el dinero necesario para adquirir los equipos requeridos para la implementación de la diseñada de la red.

A mediados de los 80's el diseño de redes celulares se basaba en su totalidad en el costo y la cobertura. La capacidad no era un problema debido a que inicialmente el tráfico era muy bajo. La relación espectro a tráfico era grande por lo tanto la interferencia era fácil de controlar.”[12]

“De manera genérica, el proceso de planificación de las redes de acceso radio de segunda (2G) y tercera (3G) generación se puede dividir en tres fases (ver la Figura 2). Estas fases consisten en:

1. Una planificación inicial o dimensionamiento.



Figura 3.2 Planificación de redes

Fuente: www.telefonica.es/sociedaddelainformacion/pdf/publicaciones/

2. Una planificación con mayor nivel de detalle de la red de acceso radio.
3. Las etapas de optimización, operación y mantenimiento de red.”[23]

El objetivo de los criterios de diseño de una red móvil es la estimación del número aproximado de emplazamientos necesarios y su configuración (para cumplir los requisitos de capacidad y cobertura en la zona de interés), así como del número de elementos de red, de los enlaces entre ellos y su capacidad.

Esta planificación inicial proporciona una rápida evaluación de los elementos de la red, tanto de la red de acceso radio como de la red troncal y la red de transmisión o transporte, y permite obtener una indicación a priori de los costes asociados y de la inversión necesaria.

Para llevar a cabo la planificación inicial es necesario disponer de información sobre la distribución de usuarios para cada uno de los servicios que ofrece el sistema, la densidad de tráfico y las estimaciones de crecimiento anual de la demanda para cada uno de los servicios, así como los requisitos relativos a la calidad de servicio esperada. La calidad se tiene en cuenta aquí en términos de probabilidad de bloqueo y probabilidad de cobertura.

“Las métricas de funcionamiento de una red típicamente incluye: caída de llamadas, bloqueo de llamadas, BER (*Bit Error Rate*), FER (*Frame Error Rate*). E_b/N_0 o $C/(I+N)$. Las métricas de desempeño de la red reflejan la calidad de la señal. El objetivo de la ingeniería o del software de optimización es maximizar la calidad de la señal, la cual mejoraría los resultados de las métricas de desempeño. Una forma de obtener una métrica de calidad es considerar la BER ya que lo lógico es que las estadísticas de desempeño se encuentren correlacionadas con la BER. La FER esta directamente relacionada con ella BER. Para una red dada, se pueden producir histogramas de BER, con el objetivo de analizar la calidad de la señal predicha y la calidad de la señal medida. Por otro lado, las antenas inteligentes tienen como función mejorar el desempeño de la red, pero la cantidad de tráfico o la cantidad de mejoramiento en un sector en particular puede ser que no sea lo suficiente para justificar su costo. Muchos ensayan modelar el mejoramiento de la calidad simplemente adicionando unos pocos dB al C/I estimado. Esta aproximación es inadecuada para la mayoría de aplicaciones. La degradación que se predice debe considerar la probabilidad y la severidad de la interferencia para producir una estimación precisa y razonable que pueda ser correlacionada con el BER.”[12]

A continuación se muestra un cuadro de atribución de bandas de frecuencias.

“En el Cuadro Nacional de Atribución de Bandas de Frecuencias, se presenta la atribución de bandas de frecuencias, por bandas, a los servicios de radiocomunicación, en cinco columnas identificadas como: REGIÓN 1, REGIÓN 2, REGIÓN 3, COLOMBIA y NOTAS. Ver figura No 3.3.



Figura 3.3 División Mundial por Regiones ITU.

Fuente: www.mincomunicaciones.gov.co/mincom/src/user_docs/Archivos/Sectorial/CuadroAtribucionGrafico.pdf

En la columna "REGIÓN 2" a menudo aparece dos o más servicios de radiocomunicación. El Ministerio de Comunicaciones tiene la facultad de decidir si uno, dos o todos ellos operarán en la banda de frecuencias respectiva, este aspecto se refleja en la cuarta columna denominada "COLOMBIA", en la cual, también aparecen los numerales del reglamento de radiocomunicaciones de la UIT (notas internacionales) que son aplicables a Colombia. Por supuesto, se establecen los procedimientos y condiciones que aseguren que no ocurrirán problemas de interferencias perjudiciales entre los servicios que compartan dicha banda." [24] (Anexo B).

3.3. Estudio De Población.

Esta fase es imprescindible en el dimensionamiento de una red cualquiera; dado que es un indicador de hacia que lugares primordialmente tienen que ser dirigido los servicios ofrecidos por el sistema. Además también se debe tener en cuenta hacia donde esta encaminado el crecimiento de la región y hacia que zona se encuentran los posibles usuarios en potencia.

Este estudio repercute en la toma de decisión, del método de planeación a emplear; con el fin de satisfacer bien sea los objetivos de cobertura RF, o la demanda potencial de abonados, así como el tipo de antena y su configuración.

“La planificación detallada de la red tiene en cuenta la ubicación real de los emplazamientos, las condiciones de propagación y una distribución de los usuarios lo más fidedigna posible (basada en la mayoría de los casos en predicciones de tráfico).

Los datos de entrada básicos que necesitan para la planificación son:

- Unas bases de datos cartográficos lo más detalladas posible. Al menos es conveniente disponer de un mapa de altura de terreno y de un mapa de morfología. Si se tiene acceso a una información más detallada de la cartografía en zonas urbanas, como puede ser la información de la capa de altura de los edificios, las predicciones de cobertura se asemejarán más a la realidad.
- La distribución y ubicación exacta de los emplazamientos, así como de los datos de su configuración: modelo de antena, potencia de transmisión, etc.
- Una distribución del tráfico en forma de mapa de usuarios. Esta información se basa en las estimaciones de tráfico del operador para el conjunto de los servicios ofrecidos.”[23]

Para el caso particular del municipio de Silvia el nicho del mercado esta dirigido en términos generales, a toda la población, pero principalmente enfocado hacia las escuelas, colegios y hospitales, que al hacer uso del sistema, pueden obtener acceso inalámbrico a Internet.

Para el estudio de la población, se consulto el Plan Básico de Ordenamiento Territorial, Municipio de Silvia, Cauca (P.O.T). Dentro del cual se destaca, El Diagnostico que cubre la Localización, Cartografía, División Político Administrativa, Delimitación, Composición de la Población por Regiones y su respectiva distribución geográfica, La infraestructura vial, sus condiciones físicas y operativas, El Subsistema económico con su sector primario, secundario y terciario. (Ver Anexo A)

3.4. Métodos De Planeación.

“La situación actual en cuanto a la planificación de las redes móviles está cambiando, debido a que cada vez más los operadores móviles se enfrentan ante escenarios de planificación en los que diferentes tecnologías de acceso radio (RATs) están conviviendo en la misma zona geográfica. Esta situación puede darse bien porque el operador tenga licencia para operar más de una tecnología de acceso, o bien por la presencia de redes de otros operadores. Además, en el panorama actual existen múltiples servicios a distintas tasas binarias, servicios que pueden ser cursados por más de una tecnología de acceso.

Para tener en cuenta esta nueva situación, se han de revisar los métodos tradicionales de planificación radio. La tendencia natural es avanzar hacia un planteamiento en el que la planificación radio se hace ya de forma conjunta y simultánea para todas las tecnologías de acceso consideradas.

El hecho de planificar de forma conjunta las diferentes tecnologías de acceso del operador hará que el resultado global sea más exitoso, y que las fases posteriores de optimización sean más sencillas, lo que redundará en beneficios económicos para el operador.

➤ Variabilidad de la distribución de tráfico y la demanda de servicios

A partir de la información de la demanda de tráfico y del plan de servicios que se va a ofrecer, el operador planteará las estrategias de distribución de tráfico entre las distintas tecnologías disponibles en su red.

Por tanto, se necesitará conocer con el mayor detalle posible los servicios ofrecidos y sus características, así como los datos de los perfiles de tráfico por abonado (o grupos de abonados) para cada uno de los servicios ofrecidos, y las estimaciones de volumen de tráfico en número de abonados por servicio.

El nivel de movilidad de los usuarios condiciona también las posibles estrategias de traspaso entre sistemas. De una forma simplificada se podría clasificar en una serie de grupos denominados:

1. Usuarios estáticos. Son aquellos usuarios que no van a cambiar de célula a lo largo de los periodos de actividad.

2. Usuarios con bajo nivel de movilidad. Son aquellos usuarios que únicamente pueden hacer traspaso a una nueva célula durante el periodo de actividad, no debido a su movilidad, sino por razones de cobertura radioeléctrica (por ejemplo, al encontrarse en el borde de una célula).

3. Usuarios con alto nivel de movilidad. Son aquellos usuarios que presentan una alta probabilidad de realizar traspaso o reelección en el curso de una llamada debido a su movilidad.

El problema es que la red no proporciona información que permita deducir el grado de movilidad de los usuarios. Eventualmente, se dispone de mecanismos que pueden permitir a la red estimar el nivel de movilidad en algunos casos.” [23]

“El desarrollo de una red CDMA2000 requiere el entendimiento del comportamiento de los abonados, además de una comprensión de las capacidades de las tecnologías de radio y los equipos. Dos metodologías son utilizadas para la planeación las cuales se conocen con los nombres de enfoque top-down y enfoque bottom-up. A continuación se tratan cada uno de los métodos de planeación nombrados.

3.4.1. Planeación De Trafico TOP-DOWN.

Este tipo de planeación asume que la red RF es la tarea de diseño más importante, y que todas las tareas fluyen a partir del diseño de RF. Los objetivos de cobertura RF se satisfacen suministrando un nivel de señal promedio en un punto dado del espacio, considerando la demanda de tráfico como secundaria. Este enfoque es empleado típicamente cuando las estaciones base de la red son pocas.

Una vez que los objetivos de cobertura han sido logrados con esta metodología, la provisión de red local se puede lograr comparando la capacidad de tráfico inicialmente estimada. A partir de esto, se puede tomar decisiones de diseño adicionales con el

objetivo de incrementar o decrementar los recursos apropiadamente. El análisis de tráfico desde este punto de vista consiste en asumir que existe demanda en el área de cobertura, que la demanda esta distribuida entre los servidores (estaciones base) y que cada periodo de tiempo la red puede requerir aprovisionamiento adicional para atender la demanda a medida que el tráfico se incrementa.

Dentro de las ventajas de este método está la fácil visualización e implementación además de su aplicación en celdas con baja densidad de tráfico las cuales tienen ventajas de costo. La capacidad de la red puede calcularse fácilmente conociendo el número de BTSs y el punto de partida así como también el factor de carga.

Sin embargo este método tiene la desventaja de tener una alta probabilidad de inconcordancia entre cobertura y la demanda de tráfico en un área dada. El resultado neto se puede reflejar en la estimación de BTSs innecesarias si la demanda de tráfico llega a ser más baja de lo esperado, o en una necesidad de BTSs adicionales si la demanda de tráfico llega a ser más alta.

La planeación de tráfico utilizando esta metodología compara el número de celdas en su capacidad inicial con la demanda de tráfico estimada. Si el tráfico estimado es mayor que la capacidad inicial entonces se debe añadir capacidad a la red. Dadas las características de este método de planeación es utilizado en aplicaciones de baja densidad de tráfico.

3.4.2. Planeación De Trafico BOTTOM-UP

Esta metodología asume que el nivel bajo de demanda potencial de abonados es la consideración de diseño más importante. Una red se define por la división del área de cobertura de acuerdo a la demanda de tráfico.

Una vez que la demanda de tráfico local es determinada en cada área (puede ser con un censo de área) existen dos caminos para encontrar el requerimiento de equipos:

- Agrupar las áreas de demanda subdivididas de acuerdo a la capacidad inicial de la estación base.

- Calcular la demanda de tráfico agregada del área en su totalidad y encontrar la cantidad de canales de procesamiento (en las BTS) y vocoders (en la BSC) requeridos para suministrar la capacidad exigida por la demanda.

El número óptimo de estaciones base y controladores puede ser calculado fácilmente y del número óptimo de BTS, se puede diseñar e implementar el plan de RF.

Este método tiene la ventaja de que la red es diseñada para alcanzar la demanda de tráfico esperada, lo cual reduce la magnitud de los cambios requeridos por la red posteriormente, con el fin de suministrar servicio que soporte el crecimiento de la misma.

Sin embargo este método tiene la desventaja de que el proceso puede tomar un poco más de tiempo, además que implica un esfuerzo adicional antes de determinar la ubicación de la estación base. Además el costo inicial puede ser más alto hasta que la demanda actual alcance la demanda proyectada.

No obstante, mientras este método puede incrementar el costo inicial de construcción de la red, también incrementa la capacidad inicial de la red y esto reduce las modificaciones requeridas posteriormente en cuanto a la cobertura RF y los equipos de la infraestructura. Esto asegura que el grado de servicio del abonado permanece constante en situaciones de alta demanda.”[12]

3.4.3. Método escogido de Planeación de Tráfico

Para el proyecto se escogió el método de planeación top-down. Dadas sus características de planeación y además que este es utilizado en aplicaciones de baja densidad de tráfico; como es el caso de las zonas suburbanas y rurales, más específicamente la región de Silvia Cauca.

3.5. Zona De Cobertura.

La delimitación del área de cobertura se hace de tal forma que se pueda alcanzar una máxima cobertura, en el desplazamiento de los usuarios de la red.

“Hay que tratar de analizar y optimizar dos aspectos fundamentales:

1. La asignación de servicios portadores radio para las distintas aplicaciones y servicios previstos.
2. Los criterios para realizar traspasos o reselecciones de célula entre redes garantizando a los usuarios el mantenimiento en la red destino, en la medida de lo posible, de la calidad de servicio ofrecida en la red original.”[23]

“Moscow Cellular Communications (diciembre de 2001) y posteriormente eltaTelecom de San Petesburgo desplegaron redes experimentales. La idea era probar la cobertura y capacidad del sistema CDMA450, sus capacidades de datos en paquetes de gran velocidad, su compatibilidad electromagnética / compartición con la red NMT450 y otros usuarios de la banda y de bandas adyacentes, y su capacidad de itinerancia.

Los operadores precitados informaron sobre los siguientes resultados:

- Radio celular de hasta 50 km.
- Consecución en un entorno urbano y en movimiento de una velocidad de transferencia de datos en paquete media de 100 Kbps (hacia abajo y hacia arriba).
- Excelente calidad vocal.
- Posibilidades de itinerancia.
- En cuanto a la compatibilidad electromagnética, dos redes, una analógica y otra digital, pueden coexistir en la banda si se utilizan las bandas de guarda en ambos lados de la portadora CDMA.”[7]

“Los valores de pérdida de trayecto máxima que puede alcanzarse en redes CDMA450, con móviles con potencia de transmisión de 200 milivatios son aproximadamente de 2-3 dB. Lo que da lugar a una calidad de servicio superior a la de sistemas analógicos.

También se benefician de las ventajas de esta cobertura los operadores que implanten sistema cdma450 en partes del espectro que todavía no se han asignado y que, por lo tanto, podrían no haber sido utilizadas anteriormente.”[25]

Basándose en la cartografía: 342 II – A, 342 II – B, 342 II –C, 342 II – D, 343 I – C, 343 I – D, 343 II – C, 343 III – A, 343 III – B y 343 IV – A, correspondiente al municipio de Silvia, Cauca, elaboradas por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) y por los mapas del Plan Básico de Ordenamiento Territorial (P.O.T.). Se determino, de acuerdo a la ubicación y a la cobertura deseada con respecto a los potenciales usuarios (Establecimientos de Salud, Escuelas y la población en general), que el sitio más idóneo para ubicar la estación base, es el cerro el Tranal; Dado que desde lugar cerro se puede cubrir todo el Municipio. (Ver Anexo A)

A continuación en la figura No 4 se muestra un mapa de los establecimientos de salud en el municipio de Silvia con sus coordenadas geográficas:

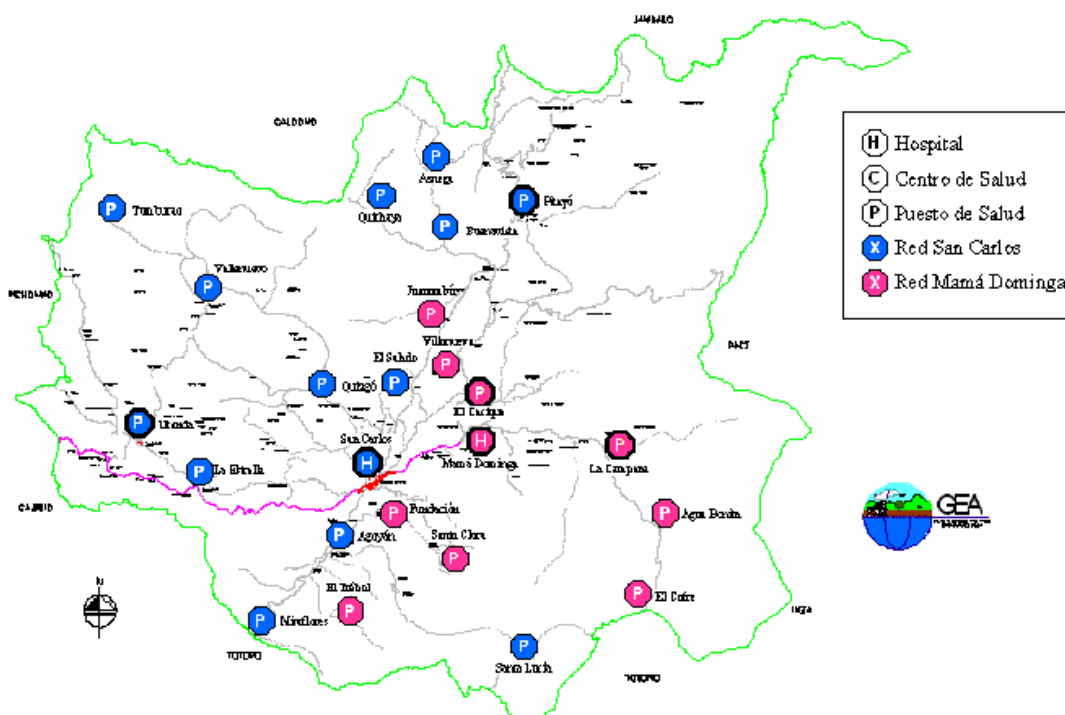


Figura 3.4 Mapa de los Establecimientos de Salud en el Municipio de Silvia

Fuente: GEA (Grupo de estudios Ambientales UNICAUCA)

“A continuación se muestran las coordenadas tanto geográficas como planas de los diferentes establecimientos de salud del Municipio de Silvia” [10]

COORDENADAS PLANAS								COORDENADAS GEOGRÁFICAS							
	W	N	W	N	W	N		W	N	W	N	W	N		
SILVIA															
H. San Carlos	1077271,643	780500,100	76,2309960	2,3649920	76	23,16600	2	36,83200	76	23	9,96	2	36	49,92	
Usenda	1067871,207	782187,155	76,2814220	2,3745000	76	28,23700	2	37,75000	76	28	14,22	2	37	45,00	
Pitayó	1083758,039	791737,686	76,1939780	2,4255620	76	19,66300	2	42,92700	76	19	39,78	2	42	55,62	
Tumburao	1066433,909	791438,650	76,2900600	2,4246200	76	29,01000	2	42,77000	76	29	0,60	2	42	46,20	
Valle Nuevo	1070976,842	787616,576	76,2633600	2,4041700	76	26,56000	2	40,69500	76	26	33,60	2	40	41,70	
Quichaya	1077426,674	792180,291	76,2304728	2,4310152	76	23,07880	2	43,16920	76	23	4,73	2	43	10,15	
Quizgó	1075086,882	782730,894	76,2420640	2,3802580	76	24,34400	2	38,04300	76	24	20,64	2	38	2,58	
Santa Lucía	1087380,031	773677,235	76,1742900	2,3307620	76	17,71500	2	33,12700	76	17	42,90	2	33	7,62	
Miraflores	1072843,044	773938,187	76,2533420	2,3316380	76	25,55700	2	33,27300	76	25	33,42	2	33	16,38	
RESG INDIGENA															
H. Mamá Dominga	1081650,440	782749,349	76,2048180	2,3803060	76	20,80300	2	38,05100	76	20	48,18	2	38	3,06	
La Campana	1087311,730	782192,485	76,1744940	2,3744820	76	17,74900	2	37,74700	76	17	44,94	2	37	44,82	
El Cacique	1083338,366	783928,109	76,1953520	2,3841400	76	19,89200	2	38,69000	76	19	53,52	2	38	41,40	
Juanambú	1081002,141	786899,048	76,2109086	2,4018160	76	21,15143	2	40,30266	76	21	9,09	2	40	18,16	
Agoyán	1078061,030	777623,457	76,2244460	2,3516260	76	22,74100	2	35,27100	76	22	44,46	2	35	16,26	
El Trébol	1075622,547	775891,465	76,2403420	2,3419920	76	24,05700	2	34,33200	76	24	3,42	2	34	19,92	
Santa Clara	1080793,385	777527,310	76,2116020	2,3513080	76	21,26700	2	35,21800	76	21	16,02	2	35	13,08	
Agua Bonita	1089579,521	772167,216	76,1631740	2,3218420	76	16,52900	2	32,30700	76	16	31,74	2	32	18,42	
El Cofre	1088341,709	774352,414	76,1711760	2,3329580	76	17,19600	2	33,49300	76	17	11,76	2	33	29,58	
JAMBALÓ															
H. Jambaló	1084232,629	798316,480	76,1924282	2,4629772	76	19,40470	2	46,49620	76	19	24,28	2	46	29,77	
La Mina	1082905,203	808765,060	76,2007038	2,5209936	76	20,11730	2	52,16560	76	20	7,04	2	52	9,94	

Nueva Guambía	1082242,931	783864,786	76,2028980	2,3839360	76	20,48300	2	38,65600	76	20	28,98	2	38	39,36
Monte Redondo	1087798,540	797548,008	76,1728860	2,4604680	76	17,48100	2	46,07800	76	17	28,86	2	46	4,68
Mendez	1088166,030	788323,316	76,1717160	2,4104380	76	17,28600	2	41,07300	76	17	17,16	2	41	4,38
La Ovejera	1084035,951	794865,648	76,1930720	2,4437440	76	19,51200	2	44,62400	76	19	30,72	2	44	37,44
Cerro El Tranal	1079491,646	785910,255	76,2158000	2,3946000					76	21	58,00	2	39	46,00
Sierra Morena	1080359,052	781763,759	76,2130000	2,3731000					76	21	30,00	2	37	31,00
Nueva ubicación Tranal				0					76	21	18	2	39	4

Tabla 3.1 Coordenadas Geográficas de los Establecimientos de Salud

Teniendo en cuenta que el estudio correspondiente a la distribución de la población corrobora que la localización del Cerro el Tranal facilita la consecución del objetivo de cobertura. También se garantiza que no existan sombras, afianzando la línea de vista necesaria para prestar un servicio de calidad. Es recomendable tener el aval de aeronáutica civil para la instalación de una torre de 30 metros de altura en el cerro el Tranal para cumplir con los requisitos propuestos por el Ministerio de Comunicaciones.

Todo esto teniendo conociendo la geografía del Municipio de Silvia, la cual es bastante montañosa y con abundante vegetación.

El lugar escogido cuenta con una carretera hasta cierto punto del cerro, y su posterior ascenso no representa mayor dificultad. También cerca del sitio pasan algunas líneas de energía, las cuales podrían prestar su servicio eléctrico para la alimentación de los equipos en la estación base.

Los resultados de las mediciones de posición y altura en la parte más alta del cerro el Tranal, se realizaron el 10 de agosto del 2005:

Ubicación Geográfica:

02°39'06" N

76°21'19" W

Equipo: GPS Magellan MAP 330

Altura:

3170msnm

Equipo: Altimetro Tomen Clasic

Margen de error: +/- 10m.

Los equipos con que se tomaron estas mediciones son confiables, y por ese motivo son utilizados en los proyectos de investigación de la Universidad del Cauca que así lo requieran. A continuación se muestran las especificaciones técnicas de los equipos mencionados.

Magellan MAP 330 gps Receiver: Product Features

Key Features	
GPS Type	
Form Factor	Handheld
Enhanced accuracy	WAAS enabled
User interface	Keypad
Receiver type	Parallel-Channel (12)
Display Size	1.33 in. * 2.2 in.
Display Type	Grayscale Display
Marine Features	Fish Finder
Audible Features	Arrival Alarm, Anchor Alarm
Trip calculator	Odometer
Grids	UTM, Swiss, Swedish, OSGB, Lat/Lon, Irish, German French, Finnish.
PC Interface	Serial RS-232
Built in memory	8MB
Environmental protection	Rubber Armored Impact Resistant Plastic
Antenna	Quadrifilar Helix
GPS System	
Accquisition time - cold	60 sec
Accquisition time – warm	15 sec
Max. Horizontal accuracy	< 10 feet
Differential standards	DGPS Ready
Number of routers	20
Waypoints	500
Battery	
Battery Life	Up to Hours
Battery Type and Quantity	2 * AA Batteries
Warranty	1 Year
Dimensions	
Weight	.44lb
Width	2 in.
Depth	1.3 in.
Height	6 in.
Miscellaneous	
MPN	980582-01
UPC	7.63357E + 11
Product ID	109015

Fuente: http://www.dealtime.com.com/xPF-Magellan_MAP_330

Tabla 3.2 Magellan MAP 330 gps Receiver Equipo utilizado para la ubicación geográfica de la Estación Base

TOMEN Classic 0-9000 Meters Altimeter/Barometer

- **Temp range:** 4°F to 104°F (-20°C to 40°C)
- **Resolution:** 30 ft/10 m

- **Accuracy:** +/- 10m or +/- 30ft
- **Dimensions:** 2.5" * 207" * 0.8" (64 * 68 * 20 mm)
- **Weight:** 3.1 oz/90 g

Fuente: <http://www.summit2sea.com/catalog/items/item167.htm>

A continuación se muestra una serie de fotografías tomadas en el cerro el Tranal donde se puede apreciar el Municipio de Silvia, Popayán y Guambia.



Figura 3.5 Vista de Silvia desde el cerro el Tranal



Figura 3.6 Vista desde el cerro el Tranal hacia Popayán



Figura 3.7 Vista desde el cerro el Tranal de la repetidora de EHAS



Figura 3.8 Vista de Guambia desde el cerro el Tranal

3.5.1. Propagación.

“Uno de los aspectos más relevantes en el diseño de un sistema móvil de comunicación inalámbrica es el estudio de propagación debido a que permite predecir el comportamiento de los campos electromagnéticos dentro del área de servicio obteniendo así el límite de la misma.

La trayectoria de las MS en los sistemas de comunicación celular varía permanentemente con el tiempo debido a su constante desplazamiento. Por tal razón la MS puede llegar a recibir directamente la señal proveniente de la estación base, así como también puede recibir la señal difractada o reflejada por los diferentes obstáculos que se encuentren próximos a la MS tales como construcciones, montañas, vegetación y otros, haciendo que el nivel de la señal llegue atenuado y desfasado.

El factor de atenuación de la señal es proporcionado por las condiciones topográficas, ambientales y por el tipo de medio (urbano, suburbano y rural), las cuales obligan a introducir los respectivos factores de corrección que determinan el nivel de la señal en el punto de recepción.”[12]

3.5.2. Parámetros utilizados en el cálculo de propagación.

“Una de las características atractivas de utilizar bandas de menor frecuencia, tal como la banda de 450 MHz, es la ventaja de la mayor cobertura que representa una significativa reducción de equipos, de infraestructura y de los gastos operativos. Además, las redes basadas en CDMA450 proveen servicios inalámbricos robustos, avanzados, confiables y económicos destinados a áreas rurales o a áreas geográficamente dispersas con baja densidad, donde más instalaciones resultan económicamente ineficientes o demasiado costosas para su implementación.

Varios países en el continente americano tienen desafíos geográficos y áreas con población dispersa similares a los países donde CDMA450 ha resultado exitosa, como los países de Europa del Este y de Asia.”[26]

“Para determinar el área de cubrimiento por estación base se tiene en cuenta el tipo de terreno, la elevación del terreno, etc. Los requerimientos para determinar el área de cubrimiento se pueden dividir en dos tipos: externos y logísticos.

➤ **Parámetros externos:**

Tipo de terreno: vegetación, selva, bosque, poblado, etc.

Elevación del terreno

➤ **Parámetros logísticos:**

Potencia Radiada Aparente PRA de la estación base

Potencia Radiada Aparente PRA de la estación móvil

Inclinación y orientación de las antenas

Ganancia del sistema de recepción.

3.5.2.1. Cálculo de la potencia de transmisión

Parámetros a considerar:

➤ Ambientales:

Tipo de medio, Pérdidas por difracción, desvanecimiento, multitrayectoria, etc.

➤ Del sistema:

Frecuencia, distancia de cobertura, alturas efectivas de las antenas transmisora y receptora.

➤ De los equipos:

Ganancia de las antenas, sensibilidad del receptor, pérdidas por atenuación, longitud del cable conector.

3.5.2.2. Proceso de cálculo

Campo mediano necesario (E_N): campo necesario para dar cubrimiento a la zona de servicio.

$$E_N = E_{mdB\mu} + \Delta \sigma E + \Delta eE \quad (1)$$

E_N = Campo mediano necesario

$E_{mdB\mu}$ = Campo Mínimo Utilizado, depende de la sensibilidad del receptor

$\Delta \sigma E$ = Corrección por Ruido Multitrayecto

ΔeE = Corrección Estadística, según disponibilidad espacial y temporal

Campo mínimo utilizable ($E_{mdB\mu}$): Está en función de la sensibilidad del receptor.

$$E_{mdB\mu} = 20 \log S[\mu V] + 20 \log f[\text{MHz}] - G_d - 32 \quad (2)$$

$S[\mu V]$ = sensibilidad del receptor

G_d = ganancia de la antena con respecto al dipolo

$$S[\text{dB}\mu] = 107 + S(\text{dBm}) \quad (3)$$

$$S[\mu V] = 10^{(S[\text{dBm}/\mu V]/20)} \quad (4)$$

➤ **Corrección por ruido multitrayecto ($\Delta \sigma E$):**

Se estima según la figura 3.9 permitiendo observar la variación de la calidad de recepción de una estación móvil mientras que la figura 3.10 muestra la variación de la calidad de recepción de una estación base, de acuerdo con la frecuencia utilizada y al trayecto deseado:

Trayecto: Desde la Estación Base hasta la Estación Móvil

A: vehículo parado en zona de mucho ruido

B: vehículo en movimiento en zona de mucho ruido

C: vehículo en movimiento en zona de poco ruido.

Potencia	Estación Base = 40 Vatios (radio celular hasta de 50Km). Estación Móvil = 200mVatios
Frecuencia	450 Mhz
Alturas Antenas	Estación Base = 30 Metros sectorizada (3 sectores) Estación Móvil = 1.5 Metros Omnidireccional
Cobertura Perimetral	90% Emplazamientos 90% del tiempo
Ganancia Antenas	Estación Base = 15 dBi (de acuerdo a la antena seleccionada) Estación Móvil = 9 dBi
Calidad de la señal	Rx EB → Nota 4 vehículo en marcha (1 vehículos/seg) Rx EM → Nota 4 vehículo en marcha
Sensibilidad estática	EM → -85 dBm EB → -85 dBm
Perdidas	Conectores Andrew (6 Unidades) FSJ4 superflex 1/2" Right angle/N Right angle (0.5 – 10200MHz) 0,5 dB por unidad Jumper superflex 1/2" plated DIN Male DIN female connectors (0.5 – 10200MHz) Cable coaxial para Estación Base PE Jacket 1-5/8" 1.53 dB/100 metros

Tabla 3.3 Características de los elementos utilizados en el diseño

➤ **Corrección Estadística (ΔeE)**

Se define de acuerdo a ciertas curvas y desviaciones tales como:

$$\Delta eE = \sqrt{\left[(kp_e)\sigma_e \right]^2 + \left[(kp_t)\sigma_t \right]^2} \quad (5)$$

Donde K_{p_e} , k_{p_t} , σ_e , σ_t son valores especiales de desviaciones gaussianas, dados por curvas para UHF y disponibilidad del 90% o mayor.

K_{p_e} = variable de espacio

k_{p_t} = variable de tiempo

σ_e = desviación típica de la variabilidad en el espacio

σ_t = desviación típica de la variabilidad en el tiempo

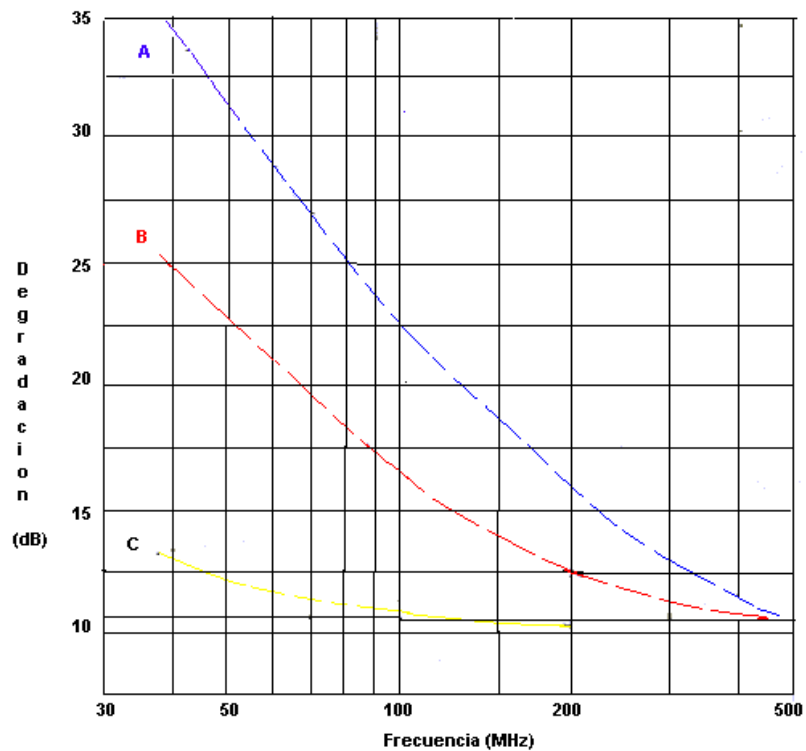


Figura 3.9 Variación de la calidad de recepción en una estación móvil

Trayecto: Desde la Estación Móvil hasta la Estación Base

A: Vehículo en marcha, la densidad de tráfico es de 2 [Vehículo/Segundo]

B: Vehículo en marcha, la densidad de tráfico es de 1 [Vehículo/Segundo]

C: Vehículo en marcha, no hay ruido de encendido ni ruido ambiental

D: Vehículo parado, la densidad de tráfico es de 2 [Vehículo/Segundo]

E: Vehículo parado, la densidad de tráfico es de 1 [Vehículo/Segundo]

La tabla 3.4 presenta los parámetros para calcular desviaciones gaussianas:

%	Kp	Banda	σ_e	Ubicación	σ_t
50	0.00	VHF	8	Tierra-mar	3
75	0.67	UHF	10	Tierra	2
90	1.28			Mar	9

Tabla 3.4 Parámetros para calcular la desviación gaussiana

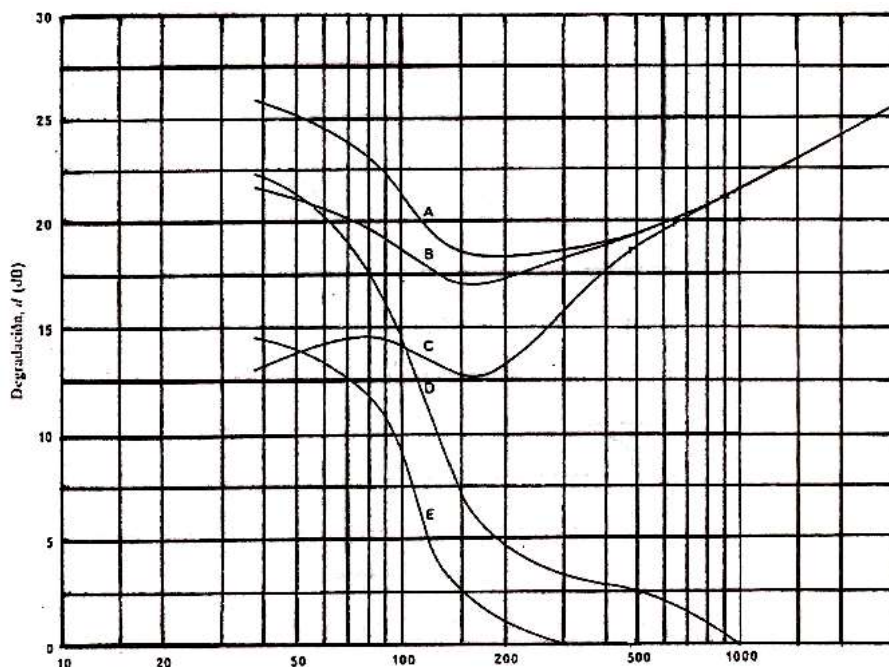


Figura 3.10 Variación de la calidad de recepción en una estación base
Degradación (dB) vs. Frecuencia (MHz)

3.5.2.3. Campo medio necesario en la Estación Móvil.

En la fórmula (3) se reemplaza la sensibilidad estática de la MS y se obtiene el siguiente resultado:

$$S[\text{dBu}] = 107 - 85 = 22\text{dBu} \quad (6)$$

Para encontrar $E_{m\mu}$ se reemplaza en la fórmula (2) el resultado de la fórmula (6) y los siguientes valores:" [14]

Ganancia de la antena de la Estación base con respecto al dipolo $G_a = 15$ dBi

$$G_d = G_a - L_{tx}$$

G_a es la ganancia de la antena con respecto al radiador isotrópico

L_{tx} son las pérdidas que introduce la línea de transmisión

$$L_{tx} = 1.53 \text{ dB}/100\text{mts} * 30\text{mts} = 0.45 \text{ dB}$$

$$G_d = 15 - 0.45 \text{ dB} = 14.5 \text{ dB}$$

Frecuencia de operación $f = 450$ MHz

Remplazando en la ecuación (2) se obtiene:

$$E_{\text{dB}\mu} = 22 + 20\text{Log } 450 - 14.541 - 32 = 28.52 \text{ dB}\mu \quad (7)$$

De la figura 3.9 se encuentra $\Delta \sigma E$, Trayecto descendente, vehículo en marcha, en zona mucho ruido debido a que se toma el caso más crítico con el fin de garantizar cobertura total, por tal razón se escoge la curva B a una frecuencia de 450 MHz obteniendo:

$$\Delta \sigma E = 10 \text{ dB} \quad (8)$$

Mediante la fórmula (5) se encuentra ΔeE tomando los valores correspondientes de la tabla 3.4

$$K_{pe} = 1.28 \text{ (90\% emplazamientos)}$$

$$\sigma_e = 10 \text{ (UHF)}$$

$$K_{pt} = 1.28 \text{ (90\% del tiempo)}$$

$$\sigma_t = 2$$

Se reemplaza estos datos obteniendo:

$$\Delta eE = \sqrt{[1,28*10]^2 + [1,28*2]^2}$$

$$\Delta eE = 13.053 \text{ dB} \quad (9)$$

Luego se encuentra E_N utilizando la formula (1) y tomando los resultados obtenidos en las ecuaciones (7), (8) y (9):

$$\begin{aligned}
E_N &= E_{mdB\mu} + \Delta \sigma E + \Delta eE \\
E_N &= 28.52 \text{ dB}\mu + 10 \text{ dB} + 13.053 \text{ dB} \\
E_N &= 51.57 \text{ dB}\mu
\end{aligned}
\tag{10}$$

3.5.2.4. Campo medio necesario en la Estación Base.

De la fórmula (3) se halla la sensibilidad tomando los siguientes valores:

$$S[\text{dB}/\mu\text{V}] = 107 - 85 = 22 \text{ dBm} \tag{11}$$

Se halla $E_{m\mu}$ utilizando la fórmula (2) reemplazando los siguientes valores:

Ganancia de la Estación móvil con respecto al dipolo $G_d [\text{dB}] = 9$

Frecuencia de operación $f [\text{MHz}] = 450$

$$E_{mdB\mu} = 22 + 20\text{Log } 450 - 9 - 32 = 34.0642 \text{ dB}\mu \tag{12}$$

De la figura 3.10 se encuentra $\Delta \sigma E$. Vehículo en marcha en zona de mucho ruido, un vehículo por segundo, por lo tanto se escoge la curva B y la frecuencia de 450 MHz, obteniendo:

$$\Delta \sigma E = 18 \text{ dB} \tag{13}$$

Mediante la fórmula (5) se calcula ΔeE , teniendo en cuenta las mismas consideraciones de la tabla 3.4 como en el caso anterior:

$$\Delta eE = 13.053 \text{ dB} \tag{14}$$

Luego se deduce E_N utilizando la formula (1) y reemplazando los resultados obtenidos en las ecuaciones (12), (13) y (14):

$$\begin{aligned}
E_N &= E_{mdB\mu} + \Delta \sigma E + \Delta eE \\
E_N &= 64.1172 \text{ dBu}
\end{aligned}
\tag{15}$$

3.5.2.5. Cálculo de cobertura

Para determinar el cubrimiento que va a suministrar el sistema se debe calcular el campo eléctrico del transmisor a una distancia d.

El campo de un transmisor a una distancia d esta dado por la siguiente ecuación:

$$E(d) = 109.4 + PRA \text{ [dBm]} + 20\text{Log } f[\text{MHz}] - L_b(d) \quad (16)$$

$L_b(d)$ [dB] = pérdidas de propagación del modelo Hata

PRA [dBm]= Potencia Radiada Aparente (PRA) que radia la antena hacia el espacio libre, esta potencia se calcula como sigue:

$$PRA(\text{dBm}) = 10\text{Log}(\text{pot}) + G_a(\text{dB}) - L_{\text{TOT}} \quad (17)$$

➤ Cálculo de la potencia radiada aparente P.R.A.

Si se quiere obtener el valor de P.R.A. en dBw, se da el valor de la potencia de transmisión del radio en dBw.

$$PRA[\text{dBw}] = 10\text{Log}(\text{potencia} * 1000) + G_a(\text{dB}) - L_{\text{TOT}} \quad (18)$$

En la figura 3.11 se observa el esquema del transmisor y la antena para calcular las pérdidas totales.

Las pérdidas totales se obtienen de sumar las pérdidas en el sistema de distribución de RF, las pérdidas en los conectores y las pérdidas en el cable. Las pérdidas en el radio se obtienen midiendo la potencia a la salida del sistema de distribución y restando este valor al obtenido del cálculo de potencia en la estación base.

$$L_{\text{TOT}} = L_{\text{RADIO}} + L_{\text{tx}} + L_{\text{JAMP}} + L_{\text{CONEC}} \quad (19)$$

Pérdida en radio(dB) = pérdidas de la estación base



Figura 3.11. Conexión del transmisor y la antena

Las pérdidas de los conectores se hallan a partir de los valores suministrados por el fabricante.

Las pérdidas en los jumpers y la línea de transmisión, se calculan teniendo en cuenta el valor nominal de pérdida por unidad de longitud suministrado por el fabricante para cada tipo de cable.

➤ **Ganancia de la antena de Transmisión**

La ganancia de la antena está dada en dBd o dBi; la ganancia en dBd es medida con respecto a un dipolo simple (ganancia unitaria). La ganancia en dBi es medida con respecto al radiador isotrópico ideal; generalmente en los manuales se da la ganancia de antena en dBd.

Cuando se tienen las ecuaciones necesarias se calculan las pérdidas de propagación, utilizando el modelo de HATA para hallar la distancia de cobertura.

“Este modelo es una formulación empírica de los datos de las pérdidas de propagación provistos por Okumura, y es válido de los 150 MHz a los 1500 MHz. Hata presentó las pérdidas dentro de un área urbana como una fórmula estándar:

$$L_{50}(\text{urbano})(\text{dB}) = 69.55 + 26.16 \log f_c - 13.82 \log h_{te} - a(h_{re}) + (44.9 - 6.55 \log h_{te}) \log d$$

Para utilizar la misma fórmula en un ambiente suburbano se cambia por como:

$$L_{50}(\text{dB}) = L_{50}(\text{urbano}) - 2[\log(f_c/28)]^2 - 5.4 \quad (20)$$

Para áreas rurales

$$L_{50}(\text{dB}) = L_{50}(\text{urbano}) - 4.78(\log f_c)^2 + 18.33\log f_c - 40.94$$

Tomando en cuenta que:

L_{50} = Son las pérdidas por propagación en espacio libre (el subíndice 50 hace referencia al valor medio).

150 MHz < f_c < 1500 MHz frecuencia de operación f_c

30 m < h_{te} < 200m altura estación base

1m < h_{re} < 10m altura estación móvil

Involucra una nueva variable que es el factor de corrección de la antena del móvil $a(h_{re})$ y se define según el tamaño de la ciudad:

Para ciudades pequeñas y medianas: $a(h_{re}) = (1.1 \log f_c - 0.7)h_{re} - (1.56 \log f_c - 0.8)$ dB
(21)

Para ciudades grandes: $a(h_{re}) = 8.29(\log 1.54h_{re})^2 - 1.1$ dB para $f_c < 300$ MHz

y $a(h_{re}) = 3.2(\log 11.75h_{re})^2 - 4.97$ dB para $f_c > 300$ MHz

Este modelo se adapta muy bien para el diseño de sistemas de gran escala, pero no para sistemas PCS los cuales tienen células del orden de 1 Km de radio. " [11]

3.5.2.7. Cobertura de la Estación Base.

Teniendo en cuenta los datos registrados en la tabla 3.3 se encuentran las correcciones $a(h_{re})$:

$$H_m [\text{mts}] = 1.5$$

$$h_b [\text{mts}] = 30$$

$$f \text{ [MHz]} = 450$$

Se utiliza la formula (20) para hallar $a(h_{re})$:

$$a(h_{re}) = 0.0112 \quad (22)$$

Reemplazando todos los valores respectivos en la fórmula (20), se obtiene:

$$L_{50}(\text{dB}) = L_{50}(\text{urbano}) - 2[\log(450/28)]^2 - 5.4$$

$$L_{50}(\text{urbano})(\text{dB}) = 69.55 + 26.16 \log 450 - 13.82 \log 30 - 0.0112 + (44.9 - 6.55 \log 30) \log d$$

$$L_{50}(\text{urbano})(\text{dB}) = 118.533 + 35.2248 \log(d)$$

$$L_{50}(\text{dB}) = 118.533 + 35.2248 \log(d) - 2[\log(450/28)]^2 - 5.4$$

$$L_{50}(\text{dB}) = L_b(d)[\text{dB}] = 110.2238 + 35.2248 \log(d) \quad (23)$$

A continuación se calcula la potencia radiada aparente PRA

$$PRA = 10 \log(\text{pot}) + G_a [\text{dB}] - L_{TOT}$$

$$L_{TOT} = L_{RADIO} + L_{tx} + L_{JAMP} + L_{CONEC}$$

Donde:

$$L_{RADIO} = 3.4 \text{ dB dado por el fabricante}$$

$$L_{tx} = 1.53 \text{ dB}/100 \text{ metros} * 30 = 0.459 \text{ dB}$$

$$L_{JAMP} = 7.22 \text{ dB}/100 \text{ mts} * 6 \text{ jumpers} = 0.43 \text{ dB}$$

$$L_{CONEC} = 0.05 \text{ dB} * 6 = 0.3 \text{ dB}$$

$$L_{TOT} = 4.589 \text{ dB}$$

Teniendo en cuenta que la potencia de transmisión dada por el fabricante son 40 vatios

$$PRA = 10 \log(40 * 1000) + 15 [\text{dB}] - 4.589 \text{ dB}$$

$$PRA = 56.4315 \text{ dBm} \quad (24)$$

Se reemplaza el resultado de la ecuación (24) en la fórmula (16) para encontrar el campo del transmisor a una distancia d:

$$E(d) = 109.4 + PRA[\text{dBm}] + 20 \text{ Log } f[\text{MHz}] - L_b(d)[\text{dB}]$$

$$E(d) = 108.6719 - 35.2248 \text{ Log}(d) \text{ dB} \quad (25)$$

Ahora se iguala el valor del campo mínimo necesario E_N de la Estación Base a la Estación Móvil de la ecuación (10) con el campo eléctrico a una distancia d de la ecuación (25) para hallar la cobertura de la Estación Base.

$$E_N = E(d)[\text{dB}] = 108.6719 - 35.2248 \text{ Log}(d)$$

$$51.57 \text{ dB}\mu = 108.6719 - 35.2248 \text{ Log}(d)$$

$$d = 10^{((108.6719 - 51.57)/35.2248)} = 41.7898 \text{ Km} \quad (26)$$

3.5.2.8. Cobertura de la Estación Móvil

Para realizar los cálculos de cobertura de la Estación Móvil Se tiene en cuenta las mismas consideraciones que en el caso anterior, solo se cambian los resultados de la Potencia Radiada Aparente PRA expresado en la fórmula (18) y el valor del campo mínimo necesario E_N de la Estación Móvil a la Estación Base:

$$PRA[\text{dBm}] = 10 \text{ Log}(\text{pot}) + G_a(\text{dB}) - L_{\text{TOT}}$$

$$\text{Potencia Móvil [vatios]} = 5$$

$$G_a[\text{dB}] = 9 \text{ dBd}$$

Para este caso se consideran pérdidas bajas de elementos pasivos tomando un valor de 0,5 dB:

$$\text{Pérdidas Totales EM [dB]} = 0,5 \quad (27)$$

$$PRA[\text{dBm}] = 10 \text{ Log}(5 \cdot 1000) + 9 \text{ dB} - 0.5 \text{ dB}$$

$$PRA[\text{dBm}] = 43.27 \text{ dBm} \quad (28)$$

Para este caso, dado que las variables de las pérdidas de trayectoria $L_b(d)$ no cambian, se toma el valor encontrado en la fórmula (23):

$$L_b(d)[\text{dB}] = 110.2238 + 35.2248 \text{ Log}(d)$$

Ahora se halla el valor del campo a una distancia d

$$E(d) = 109.4 + \text{PRA}[\text{dBm}] + 20 \text{ Log } f[\text{MHz}] - L_b(d)[\text{dB}]$$

$$E(d) = 97.7442 - 35.2248 \text{ Log}(d) \text{ dB} \quad (29)$$

Igualando el valor del campo mínimo necesario E_N de la Estación Base a la Estación Móvil (EM \rightarrow EB) de la ecuación (15) con el campo eléctrico a una distancia d de la ecuación (29) para hallar la cobertura de la Estación móvil.

$$E_N = E(d)[\text{dB}] = 97.7442 - 35.2248 \text{ Log}(d)$$

$$71.693 \text{ dB}\mu = 97.7442 - 35.2248 \text{ Log}(d)$$

$$d = 10^{((97.7442 - 64.1172)/35.2248)} = 9.008 \text{ Km} \quad (30)$$

3.5.6. ANTENAS.

La antena escogida para el diseño es una antena que presenta las siguientes características:

450MHz CDMA Panel Antenna						
Antenna Description	V-Polar 65° 12dBi	V-Polar 65° 15dBi	V-Polar 90° 11dBi	V-Polar 90° 14dBi	X-Polar 65° 15dBi	X-Polar 90° 13dBi
Electrical Specifications						
Working Frequency	430~470MHz	430~470MHz	430~470MHz	430~470MHz	430~470MHz	430~470MHz
Polarization	Vertical	Vertical	Vertical	Vertical	+/-45°	+/-45°
Horizontal beamwidth	65°	65°	90°	90°	65°	90°
Vertical beamwidth	27°	13°	27°	13°	16°	16°
Gain	12dBi	15dBi	11dBi	14dBi	15dBi	15dBi
Elec-down tilt	0°	0°	0°	0°	0°	0°
Front-to-back ratio	>25 dB	>25 dB	>25 dB	>25 dB	>25 dB	>25 dB
Isolation					>30dB	>30dB
Impedance	50 Ohms	50 Ohms	50 Ohms	50 Ohms	50 Ohms	50 Ohms
VSWR	< 1.5	< 1.5	< 1.5	< 1.5	< 1.5	< 1.5
IM3rd order(2x43dBm)	<-107dBm	<-107dBm	<-107dBm	<-107dBm	<-107dBm	<-107dBm
Maximum input power	500 W	500 W	500 W	500 W	500 W	500 W
Connector	7/16 Female	7/16 Female	7/16 Female	7/16 Female	7/16 Female	7/16 Female
Lightning protection	Direct ground	Direct ground	Direct ground	Direct ground	Direct ground	Direct ground
Mechanical Specifications						
Dimensions of antenna (LxMxH)mm	1260 x 635 x 140	2520 x 635 x 140	1260 x 262 x 140	2520 x 262 x 140	2110 x 507 x 203	2410 x 507 x 203
Weight of antenna	20.0Kg	38.0Kg	12.0Kg	20.0Kg	25.0Kg	30.0Kg
Weight of mounting kit	6.9Kg	6.9Kg	6.9Kg	6.9Kg	10.0Kg	10.0Kg
Angle of pitch	0~15°	0~15°	0~15°	0~15°	0~15°	0~15°
Diameter of installation pole	φ50~110 mm	φ50~110 mm	φ50~110 mm	φ50~110 mm	φ50~110 mm	φ50~110 mm
Radome material	UV Protected PVC	UV Protected PVC	UV Protected PVC	UV Protected PVC	UV Protected PVC	UV Protected PVC

Figura 3.12. Características Técnicas de la Antena

Fuente www.cdmatech.com/solutions/pdf/radioone_factsheet.pdf

La antena tiene una ganancia de 15 dBi, trabaja en el rango de frecuencia de 430 MHz a 470 MHz, utiliza polarización vertical, tiene una impedancia de 50 ohms, la máxima potencia de entrada es de 500 watts. El patrón de radiación de la antena es el que se muestra en la figura 3.13.

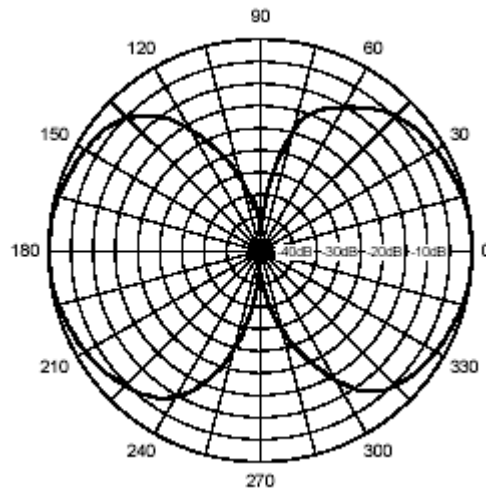


Figura 3.13. Patrón de radiación de la Antena

3.6. ANALISIS DE TRÁFICO

A partir de la información de la demanda de tráfico y del plan de servicios que se va a ofrecer, el operador planteará las estrategias de distribución de tráfico entre las distintas tecnologías disponibles en su red.

Por tanto, se necesitará conocer con el mayor detalle posible los servicios ofrecidos y sus características, así como los datos de los perfiles de tráfico por abonado (o grupos de abonados) para cada uno de los servicios ofrecidos, y las estimaciones de volumen de tráfico en número de abonados por servicio.

El diseño que se realizará hace uso de la metodología ascendente conocida como top-down para determinar las capacidades de los equipos en la red. En el municipio de Silvia se cuenta las siguientes características:

- El municipio de Silvia cuenta con 39689 habitantes los cuales en su mayoría acceden a los servicios de salud y a su vez los niños y alguna parte de la población adulta tiene acceso a los centros educativos. Del total de habitantes se considera que 3000 son los potenciales abonados que están en capacidad de utilizar el servicio del sistema; dentro de los cuales se destacan establecimientos de salud, escuelas y abonados de tipo particular. El servicio esta dirigido principalmente hacia la cabecera municipal, los resguardos de Guambia, Pitayo, Ambalo y Quizgo, que es donde se encuentra la mayor parte de la población.
- Cdma450 requiere 1,8 MHz, incluidas las bandas de guarda, para funcionar con una sola portadora CDMA; 3,0 MHz con dos portadoras.
- “La tecnología CDMA permite realizar de forma muy provechosa las interfaces aéreas inalámbricas que se utilizan en este espectro. La CDMA, con la que en la actualidad se da servicio a 65 millones de abonados en todo el mundo, ofrece a los operadores y a sus usuarios finales mejoras considerables en cuanto a:
 - capacidad.
 - cobertura.
 - claridad vocal.
 - calidad de la llamada.
 - privacidad y seguridad.
 - consumo de potencia.
 - aspectos económicos de la infraestructura.
 - servicios mejorados/servicios de datos.
 - acceso inalámbrico fijo.
- Gracias a estas mejoras, los operadores de las zonas rurales podrán prestar servicios de mayor calidad a sus abonados. Se dispondrá, por ejemplo, de servicios de apoyo a la atención médica y de acceso a Internet, serán posibles los servicios educativos y las pequeñas empresas locales podrán acceder al mercado mundial.
- Tanto en el caso de redes completamente digitales que ocupan toda la banda, como el caso de una sola portadora, la capacidad de CDMA450 rebasa considerablemente el requisito típico de 60 Erlangs por sitio. La capacidad CDMA450 con una sola portadora alcanza los 79,3 Erlangs por sitio, rebasando el requisito mínimo por sitio;

con dos portadoras de 158,4 Erlangs por sitio; y con tres portadoras, la capacidad disponible será de 237,6 Erlangs por sitio. Observar la tabla 3.5"[8]

Parametros	CDMA450
Erlangs por sector por portadora	26
Total de Erlangs por sector	79
Total de Erlangs Abonados por Sitio	237
Abonados por Sitio	7900

Tabla 3.5 Capacidad de CDMA450 en Erlangs por sitio.

Fuente: ITU

- La fórmula de probabilidad de tráfico está dada por:

$$B(N, A) = \frac{A^N / N!}{\sum_{k=0}^N A^k / k!}$$

$$C(N, A) = \frac{N \cdot B(N, A)}{N - A[1 - B(N, A)]}$$

- Cada abonado realiza una llamada de 120 segundos de duración durante la hora pico.

El tráfico ofrecido está definido como:

$$A = nT/3600$$

Donde:

A = Tráfico ofrecido

n = Número de llamadas por hora

T = Tiempo promedio de llamada (en segundos)

Tomando n = 1 y T = 120, entonces:

$$A = 1 * 120/3600 = 30 \text{ mE}$$

Entonces los abonados por sector son $26/0.030 = 867$.

3.6.1. CALCULOS DE LA RED

Se tienen 3000 abonados. Asumiendo que el 20% de los abonados utiliza el servicio de la red simultáneamente se tienen:

$$3000 \cdot 20/100 = 600 \text{ abonados}$$

El número de Erlangs necesarios para servirlos (asumiendo una distribución de tráfico) es:

$$\text{Erlangs} = 600 \cdot 26/867$$

Entonces la cantidad total de Erlangs es = 17.99

El número requerido de sectores es $600/867 = 0.69$ sectores que se aproxima a 1. Entonces únicamente requiere de 1 BTS.

3.6.1.1. Cálculo de los codificadores de voz.

“El número de codificadores de voz se calcula usando el tráfico total en Erlangs de la BTS del BSC, y la probabilidad de bloqueo en el enlace entre el BSC y el MSC. Para el diseño se toma una probabilidad de bloqueo del 1 %:

$$N_{\text{VOC}} = \text{ErlangB}(\sum \text{Erlang}_{\text{BTS}}, P_B)$$

$$N_{\text{VOC}} = \text{ErlangB}(17.99, 0.01)$$

$$N_{\text{VOC}} = 10.33$$

$$N_{\text{VOC}} = 11 \text{ vocoders}$$

Como el BSC tiene una capacidad de 1904 codificadores de voz, un BSC soportará el tráfico ofrecido.

La consideración también debe ser dada por la capacidad de procesamiento del BSC y el número de BTSs que se pueden conectar al BSC, antes de determinar el número final de BSCs.”[2]

3.6.1.2. Cálculo de la cantidad de BTS

Para satisfacer las condiciones de capacidad y cobertura, el mayor número de BTSs requerido para cubrir el área de servicio y para servir el número de abonados se debe escoger utilizando la siguiente expresión:

$$BTS_{TOT} = \text{Max}(BTS_{TRAFICO}, BTS_{COBERTURA})$$

Donde:

BTS_{TOT} = Número final de BTSs requeridas

$BTS_{TRAFICO}$ = Número de BTSs requeridas para servir abonados

$BTS_{COBERTURA}$ = Número de BTSs requeridas para cubrir el área de servicio

De acuerdo a los cálculos realizados para estimar el área de cobertura de acuerdo a los parámetros técnicos de las BTS se concluye que solo se requiere una BTS.

3.6.1.3. Cálculo de la cantidad de BSC.

“El número de BSCs se puede determinar a partir del número de BTSs, del número de codificadores de voz que se pueden instalar.

La relación de vocoders es aproximadamente 0.7 – 0.8.

Esto se puede calcular con la siguiente expresión:

$$BSC_{TOT} = \text{Max} [(Número de BTSs necesaria/64), (Número necesario de vocoders / (1904/relación de vocoders))]$$

Donde:

BSC_{TOT} = Número final de BSCs requeridos

Número necesario de vocoders = Número de vocoders requeridos para soportar el tráfico esperado

Relación de vocoders = La relación de número de vocoders instalados al máximo número de vocoders

$$BSC_{TOT} = \text{Max} [(1/64), (14 / (1904/0.8))]$$

$$BSC_{TOT} = \text{Max} [(1), (1)]$$

$$BSC_{TOT} = 1$$

En la mayoría de los casos, se utiliza un sistema de referencia de 3-FA. Además es conveniente diseñar el número de BSCs basándose en la posibilidad de adición de FAs que permitan un futuro crecimiento de la red.

Los requerimientos de canales FA adicionales pueden ser determinados con la siguiente expresión:

$$\text{Num_canales} = \text{Roundup}[(TCHs * \text{núm_de_sectores}) / 72] * \text{número de FAs}$$

Para un sistema de 3-FA

$$\text{Num_canales} = \text{Roundup}[(14 * 1) * (1 * 3) / 72] * 3$$

$$\text{Num_canales} = 2 \text{ “[2]”}$$

3.7.2. CONFIGURACION.

3.7.2.1. Configuración del BSC.

“Con 1 BSC, se soportan 64 BTS lo cual nos da la capacidad de soportar la BTS requerida para el diseño.

Cada BTS se puede conectar al BSC por medio de un enlace E1. Cada módulo AETA soporta 6 enlaces E1, de tal forma que 1 módulo ensamblador de la interfaz E1/T1 ATM AETA (ATM E1/T1 interface Assembly) se requiere en la BSC. Se requiere un módulo ensamblador STM-1/OC-3 ATM AS1A (ATM STM-1/OC-3 Assembly) para conectar el BSC a la BSM.” [2]

3.8. Enlaces entre los elementos de la red.

3.8.1. ENLACES B.

3.8.1.1. Enlace entre la BTS y el BSC

La BTS se conecta al BSC por medio de un enlace E1(2Mbps) o de un enlace STM-1 (155Mbps). Todos los datos para tráfico y señalización se envían utilizando ATM con la capa AAL0 para voz y la capa AAL5 para datos.

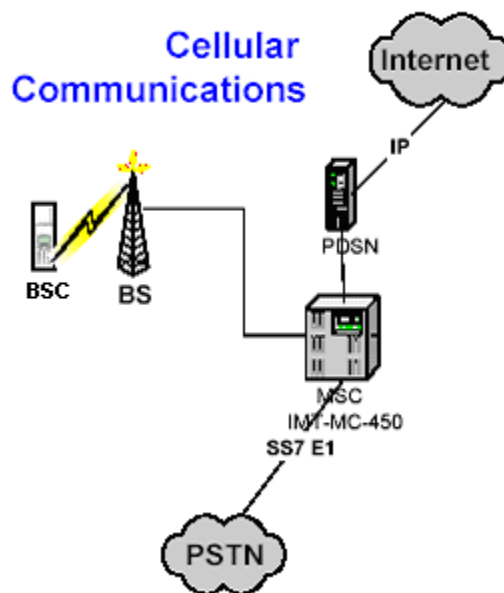


Figura 3.14 Enlace B

3.8.2. ENLACES G.

Para comunicar dos BSCs se maneja por intermedio de un enlace STM-1/OC-3, utilizando la pasarela GAN en el SBRG.

3.8.3. ENLACES M.

3.8.3.1. Enlaces entre el BSC y el MSC.

“Los datos de usuario transmitidos entre el BSC y el MSC se transportan utilizando un enlace E1, por el cual fluyen datos en formato PCM. Los datos de señalización se envían sobre los mismos enlaces utilizando SS7 e IOS.

Es posible conectar un máximo de 60 enlaces E1 canalizados entre cada BSC y el MSC. Utilizando 32 canales por E1 obtenemos que el número máximo de intervalos PCM es 1920. La señalización y la voz utilizan una fracción de los intervalos totales.

El número de enlaces E1 necesarios para conectar el BSC al MSC se calcula a partir de la siguiente expresión:

$$\text{NumE1}_{\text{BSC-MSC}} = \text{Roundup} (\text{total_vocoders_BSC}/\beta) \times (24/32)$$

$$\text{NumE1}_{\text{BSC-MSC}} = \text{Roundup} (14/1904) \times (24/32)$$

$$\text{NumE1}_{\text{BSC-MSC}} = 1$$

Donde:

Total de vocoders del BSC: Número de vocoders por BSC.

β : Número de vocoders por enlace E1.”[2]

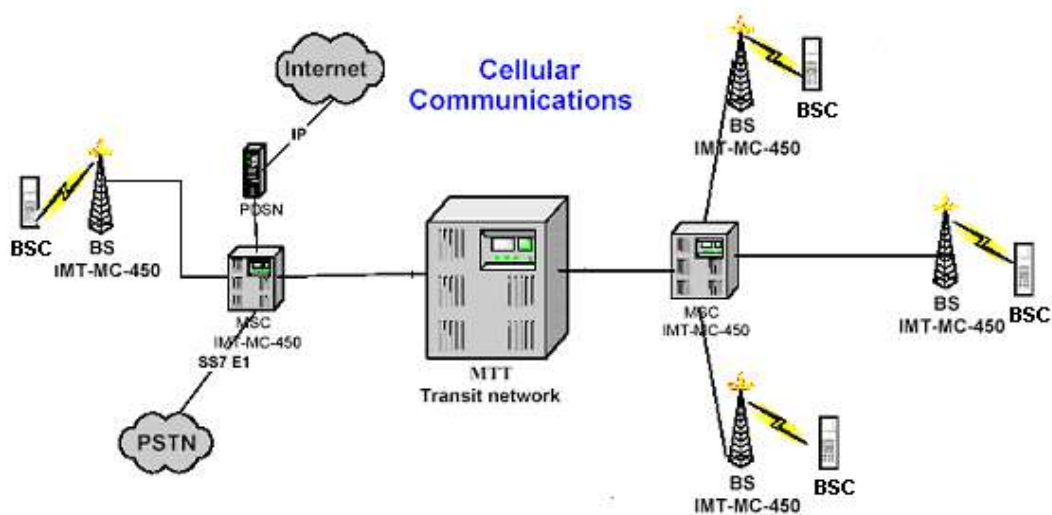


Figura 3.15 Arquitectura General de la Red

3.9. Equipos a emplear en el diseño

A continuación se muestra la arquitectura de los equipos a utilizar en la BS ubicada en el cerro el Tranal en el municipio de Silvia y en la BSC, los cuales corresponden respectivamente al Ericsson RBS 1130 y al BSC 1120 de Ericsson también.

CDMA450 RBS

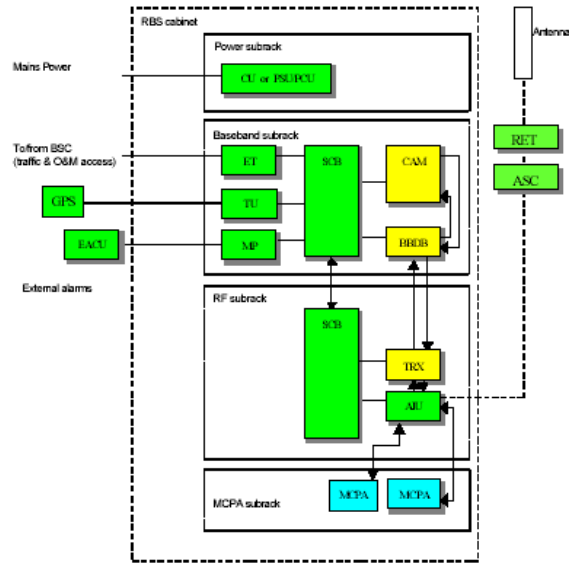


Figura 3.16 Arquitectura BS

Fuente: [http:// mailweb.udlap.mx](http://mailweb.udlap.mx)

CDMA450 BSC1120

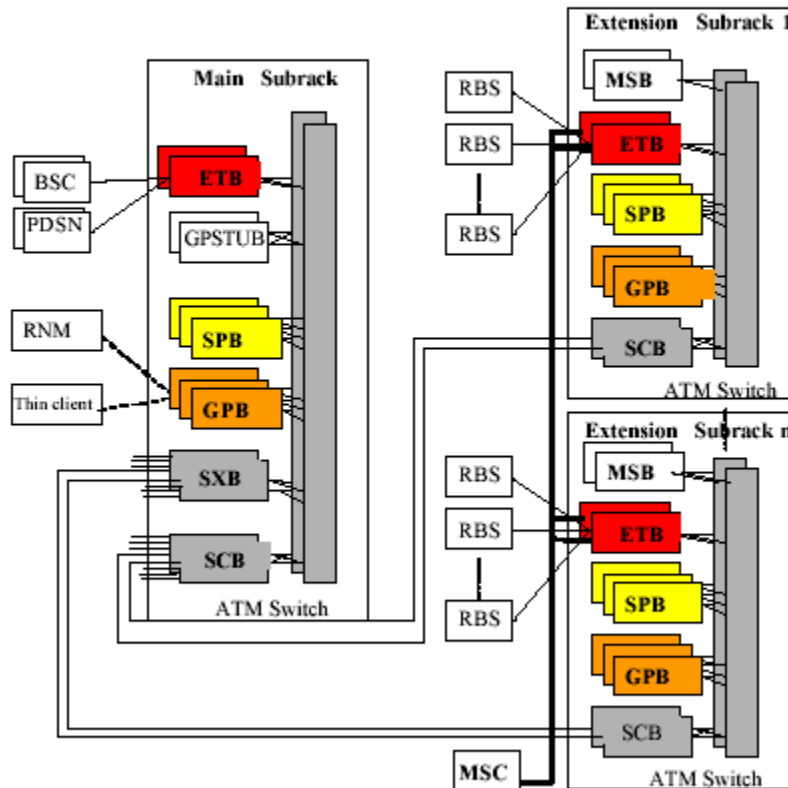


Figura 3.17 Arquitectura BSC

Fuente: [http:// mailweb.udlap.mx](http://mailweb.udlap.mx)

Finalmente la ubicación de los equipos que conforman la red se muestra como se indica en la figura 3.18. En el cerro será ubicada la estación base (BS) y con su respectivo equipamiento, en tanto que en la cabecera municipal serán ubicado le BSC.

En el mapa en cuestión se pueden apreciar las curvas de nivel (de color amarillo), al igual que se puede apreciar las principales vías de color gris. Así mismo se puede observar que el cerro se encuentra ubicado en el centro del municipio y a una altura considerable desde donde se puede cubrir todo el municipio de Silvia.

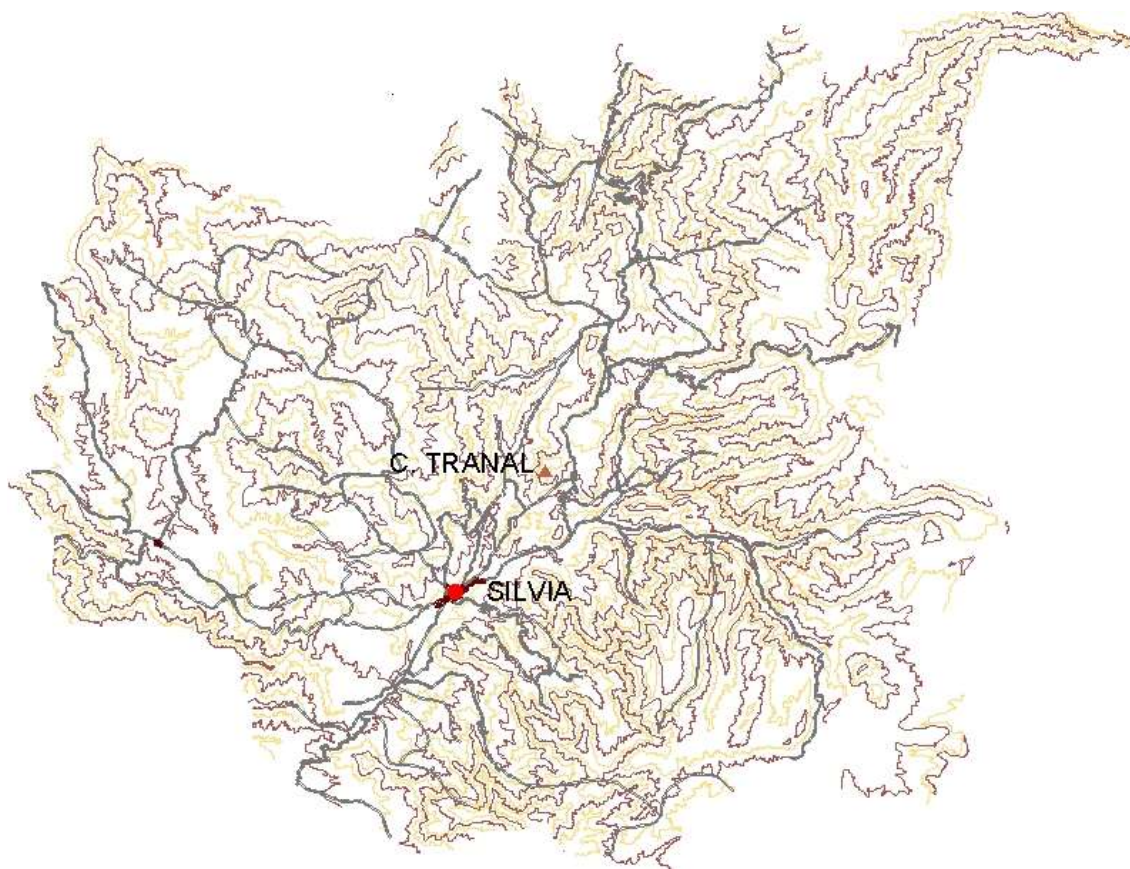


Figura 3.18. Ubicación de equipos

Fuente: GEA(Grupo de Estudios Ambientales UNICAUCA)

La distancia entre el cerro del Tranal y la cabecera municipal de Silvia es de aproximadamente 6 Km.

CONCLUSIONES

La telefonía ha sido la principal opción para acceder a las telecomunicaciones en las zonas rurales. En la actualidad, una gran variedad de aplicaciones nuevas, como el correo electrónico, el comercio electrónico, la teleeducación, la telesalud y la telemedicina, entre otros, se han vuelto tan importantes como la conectividad vocal.

Puesto que cada comunidad rural requiere una combinación específica de comunicaciones de voz, texto, imágenes, vídeo y audio para satisfacer sus necesidades de la manera que mejor les convenga, los operadores de redes de telecomunicación han de poder facilitar la prestación de una gama de servicios y/o aplicaciones lo más amplia posible así como diversas anchuras de banda a costos razonables.

Para que se logre la instalación de sistemas de comunicación en las zonas rurales de los países en desarrollo es fundamental que se cumplan los requisitos siguientes:

- 1) posibilidad de implementación y explotación a bajo costo en áreas de escasa densidad de población.
- 2) los sistemas han de ser fácilmente instalables, incluso en localidades distantes y de difícil acceso.

La utilización de la tecnología CDMA en la banda de frecuencias de 450 MHz puede constituir una solución eficiente para los nuevos operadores interesados en proporcionar servicios IMT-2000 a lo largo de un vasto territorio y con reducida inversión.

Por otra parte, la experiencia lograda al desplegar la red CDMA450 en San Petersburgo indica que el sistema permite a los operadores construir sistemas IMT-2000 en la gama de 450 MHz en zonas con gran densidad de tráfico.

Se aprecia cierto interés de invertir por parte de los operadores en América Latina, Asia y África en:

- Fondos para Telefonía Universal (voz y datos)
- Red Fija (servicios fijos, interés primario en voz)
- Inalámbrico (despliegue rural, fijo y móvil)

Además es importante mencionar, por que un Operador elegiría desplegar una red CDMA:

1. Ventajas en Cobertura
2. Disponibilidad de Espectro (relativo)
3. Incentivos para Telefonía Rural
4. Oportunidad de Acceso Universal
5. Posibilidad de re-uso de la infraestructura

La tecnología CDMA se adapta mejor para comunicaciones rurales que la tecnología GSM. Dado que las pruebas realizadas con CDMA arrojaron un mejor resultado y desempeño, además los estudios en GSM400 han sido prácticamente abandonados y es por esto que en la actualidad todos los estudios y pruebas se están realizando en CDMA450.

La opción de CDMA450 tiene el mayor crecimiento con respecto a GSM400 y en cuanto a investigación tiene mucho más desarrollo y más participantes a nivel mundial, en más de 25 países, en Suramérica hay participación de esta tecnología en Argentina, Brasil, Chile y Perú, donde se presenta un difícil acceso a sus zonas rurales y suburbanas, así como en Colombia.

Las actuales redes de telefonía móvil celular en CDMA450, tienen resultados muy satisfactorios y lo más importante prestando servicios de 3G.

La ventaja histórica de CDMA450 respecto a GSM400 comienza, en San Petersburgo Rusia, donde se realizaron las primeras pruebas para la evolución de NMT en la banda de 450 MHz, fueron exitosas en CDMA y presentaron muchos inconvenientes para GSM

donde los operadores que realizaban la investigación abandonaron en un principio esta tecnología. Como ya se ha mencionado que CDMA450 ha sido y es impulsando fuertemente a nivel mundial, es lo mas viable y razonable inclinarse hacia esta tecnología a la hora de obtener soporte tanto teórico como técnico, debido a los muchos proyectos de investigación y las redes implantadas de este tipo por varios operadores en telecomunicaciones a nivel mundial, sin dejar de un lado que el mayor desarrollo genera mayor economía

Por la cobertura que presentan estas tecnologías es más eficiente CDMA450 por el manejo de potencia, la capacidad y la inmunidad a la interferencia de ruido.

Otras Características importantes de CDMA450:

- Disponibilidad de espectro.
- Incentivos para telefonía Rural.
- Oportunidad de acceso universal.
- Posibilidad de Re-uso de la infraestructura.
- Capacidad Roaming de CDMA450 hacia las redes GSM, a bajo costo

Con respecto a la planeación de la red realizada en le tercer capitulo del proyecto, ha de resaltarse la importancia de varios factores a tener en cuenta como son las consideraciones que se debe de tener en cuanto a la topografía del terreno las condiciones geográficas y la distribución de los posible usuarios (principalmente establecimientos de salud y de educación).

También es de suma importancia el estudio general de la región en lo que se refiere a su economía, vías de acceso, puestos de salud, escuelas, suministro eléctrico, aspectos estos que están consignados en el anexo A y en el anexo B.

Es de resaltar en el diseño del proyecto que los cálculos de cobertura (sin degradación de los servicios) son bastantes satisfactorios y demuestran la mayor cobertura con respecto

a las bandas de 800 MHz, 1800 MHz y 1900 MHz, valor que fue calculado en las peores condiciones de propagación.

De lo anterior se puede concluir que los cálculos coinciden con la teoría de la tecnología CDMA450. Al igual que estos coinciden con las pruebas realizadas en los diferentes países con dicha tecnología.

Es de resaltar que la tecnología CDMA resulta ser mucho menos costosa que otro tipo de tecnología que operan en bandas superiores. Tenemos que con una sola célula en 450MHz se obtiene una cobertura igual que con dos células en la banda de (800-900)MHz y cuatro células en la banda de (1800-1900)MHz. Repercutiendo esto directamente en los costos de implementación de una red celular.

Con la tecnología CDMA450 se logra establecer comunicación de una red móvil celular y/o una red fija inalámbrica para zonas rurales, suburbanas y urbanas con servicios de voz y datos de tercera generación.

Esta tecnología impulsaría (como se ha visto en otros países) la economía y el desarrollo de las regiones. A su vez eliminaría la brecha digital presente entre las zonas urbanas y rurales, sobre todo en países con condiciones topográficas y geográficas de difícil acceso, baja densidad poblacional y en países en vía de desarrollo.

Se concluye de este proyecto que la tecnología rural CDMA450, tiene dos aplicaciones de suma importancia como son: telefonía rural y conectividad de datos para zonas rurales (telemedicina teleeducación e Internet entre otros).

CDMA450 es una tecnología que permite el desarrollo de las comunicaciones rurales en el territorio nacional, en vista de todo lo presentado a través del proyecto determinando así una nueva opción de conectividad en Colombia.

RECOMENDACIONES

Es muy importante tener en cuenta, el enviar carta del estudio técnico a la Aeronáutica Civil del lugar donde se piensa montar la torre celular para ubicara las antenas, al igual que se debe enviar carta a Planeación Nacional de dicho lugar, para que estas dos entidades den su respectivo aval. Hecho esto se debe enviar la solicitud al Ministerio de Comunicaciones con copia de la respuesta de las cartas de la Aeronáutica Civil y de Planeación Nacional.

Como parte del aporte de este trabajo de grado se deja sentada una base cognoscitiva de la tecnología CDMA450 y teorica para futuros trabajos encaminados hacia las comunicaciones rurales en Colombia, abriendo así un espacio para futuros estudios y diversas aplicaciones que se pueden desarrollar en esta área.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- [1] **Artículo:** The Economist, 10 de marzo 2005.
http://www.economist.com/opinion/displayStory.cfm?story_id=3742817
- [2] **Artículo:** El reto de la telefonía móvil y el servicio Universal en América Latina; Revista trimestral del Foro Latinoamericano de Reguladores de Telecomunicaciones, REGULATEL
- [3] Para una descripción general de la norma NMT, véase el Informe UIT-R M.742-4 y para mayor información sobre los operadores NMT450 consúltese el sitio Web NMTA: <http://www.nmtworld.org>.
- [4] Directrices a mediano plazo (MTG) para facilitar la transición armoniosa de las actuales redes móviles a las IMT-2000 en los países en desarrollo; **UIT-D** comisión de estudio 2 relator para la cuestión 18/2
- [5] www.comcel.com.co/tecnologiadma/este_comcel/historia.php
- [6] Ministerio de comunicaciones, cuadro de espectro radio eléctrico colombiano, asignación de bandas.
www.mincomunicaciones.gov.co/mincom/src/user_docs/Archivos/Sectorial/CuadroAtribucionGrafico.pdf
- [7] **Artículo:** Tecnologías que puedan ayudar a cerrar la “brecha digital”
<http://www.pcatodo.com/nota.html?n=0000343>
- [8] <http://www.tele-semana.com>
- [9] <http://www.itu.int/itudoc/gs/subscirc/itu>
- [10] <http://www.cibersociedad.net.htm>
- [11] <http://www.frecuenciaonline.com/espanol/index.php>
- [12] **Proyecto de Grado:** Análisis y Diseño de una red de tercera generación basada en CDMA2000 para la ciudad de Popayán. Universidad del Cauca, FIET
- [13] DOCUMENTO CEDE 2005-23 ISSN 1657-7191 (Edición Electrónica).PDF. Evolución del servicio de telecomunicaciones durante la última década

[14] **Proyecto de Grado:** Edge – Opción tecnológica para la evolución de la red móvil celular de Colombia hacia una infraestructura de tercera generación.

[15] **Artículo:** facilitando el acceso económico de banda ancha en 450 mhz: chipsets y soluciones de software (Qualcomm incorporated)
http://www.cdmatech.com/solutions/pdf/radioone_factsheet.pdf

[16] **Artículo:** Red de radio móvil CDMA450 (Radiomovel telecommunications S.A.) <http://www.mobilecomms-technology.com/projects/radiomovel/&prev=/search%3Fq%3Dcoverage%2Bcdma450>

[17] **Nuevas Tecnologías para Aplicaciones Rurales** Informe final del Grupo Temático 7 del UIT-D

[18] <http://teleagro.unicauca.edu.co/index.php?opc=11>

[19] http://www.telefonica.es/sociedaddelainformacion/pdf/publicaciones/movilidad/capitulo_7.pdf

[20] <http://www.presidencia.gov.co/decretoslinea/2005/enero/31/dec195310105.pdf>

[21] http://www.itu.int/dms_pub/itu-d/opb/stg/D-STG-SG02.18-2002-PDF-S.pdf

[22] http://www.itu.int/itudoc/itu-d/publicat/foc_gr7-es.

[23] http://www.dgp.tsct.gov.mx/fileadmin/ccp2/servicios/doc_537-4_c.1

[24] EHAS Enlace Hispanoamericano de Salud. Colombia UNICAUCA.

[25] http://mailweb.udlap.mx/~lgojeda/telecomsis/large_scale%20propagation%20models/mp_exteriores.htm#Hata

[26]. http://www.itu.int/itudoc/itu-d/publicat/foc_gr7-es.

➤ *Referencias Bibliograficas Internet*

<http://www.3gpp2.org>

[http:// www.IA450.org](http://www.IA450.org)

<http://www.iec.org/online/tutorials/tdma/>

<http://www.gsmworld.com/index1.html>

<http://www.ericsson.com/wcdma/>