



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

**CRITERIOS PARA EL USO SIMULTÁNEO DE TECNOLOGÍA
CDMA Y GSM EN UN ANCHO DE BANDA DE 15 MHz
SOBRE BANDA DE 1900 MHz**

Obed Ornán Ajanel Noriega

Asesorado por el Ing. Luis Eduardo Durán Córdova

Guatemala, Noviembre de 2005

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**CRITERIOS PARA EL USO SIMULTÁNEO DE TECNOLOGÍA
CDMA Y GSM EN UN ANCHO DE BANDA DE 15 MHz SOBRE
BANDA DE 1900 MHz**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

OBED ORNÁN AJANEL NORIEGA

ASESORADO POR: EL ING. LUIS EDUARDO DURÁN CÓRDOVA
AI CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE
INGENIERO ELECTRÓNICO

GUATEMALA, NOVIEMBRE 2005

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

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

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

| | |
|------------|--------------------------------------|
| DECANO | Ing. Sydney Alexander Samuels Milson |
| EXAMINADOR | Ing. Luis Eduardo Durán Córdova |
| EXAMINADOR | Ing. Edwin Efraín Segura Castellanos |
| EXAMINADOR | Ing. Manuel Fernando Barrera Pérez |
| SECRETARIO | Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco |

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

CRITERIOS PARA EL USO SIMULTÁNEO DE TECNOLOGÍA CDMA Y GSM EN UN ANCHO DE BANDA DE 15 MHz SOBRE BANDA DE 1900 MHz

Tema que me fuera asignado por la dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica- Eléctrica el 18 de enero de 2005.

Obed Ornán Ajanel Noriega

ACTO QUE DEDICO A:

DIOS:

Por crearme y guiarme para alcanzar las metas y sueños que he tenido.

JESÚS:

Por darme vida.

Mis padres:

Porque solamente ellos saben todos los esfuerzos realizados, para que tuviera todo lo necesario, durante el tiempo de total dependencia de ellos.

Mis hermanos:

Porque se que es una meta alcanzada, la cual ustedes también alcanzaran muy pronto.

Toda mi familia:

Porque son parte importante en mi vida. Se que puedo contar con todos ustedes siempre e igual ustedes conmigo.

AGRADECIMIENTOS A:

Mi padre:

Felipe Ajanel Ramos (†) por tu amor, guía, ejemplo. Aunque tu presencia material no la tengo, a través de tus legados continúas conmigo. Nos veremos padre.

Mi Madre:

Carmela Noriega de Ajanel, porque no he recibido tanto aliento de nadie como el que me das.

Mis hermanos:

Nancy Elizabeth, Donaldo Mardoqueo, Felipe Gamaliel, Libna Babela, Onán Isaí, Saraí Eunice. Gracias por brindarme amistad incondicional.

Compañeros de estudio:

Que compartimos momentos alegres, difíciles, en especial a Juan Catalán, Héctor Ovalle, Víctor López, Ing. Francisco Soto.

Ing. Luis Durán:

Gracias por su asesoría y colaboración en el desarrollo de este trabajo.

Universidad de San Carlos de Guatemala:

Gracias por abrir sus puertas, a los que desean superarse.

ÍNDICE GENERAL

| | |
|---|-----|
| ÍNDICE DE ILUSTRACIONES..... | V |
| GLOSARIO..... | VII |
| RESUMEN..... | X |
| OBJETIVOS..... | XI |
| INTRODUCCIÓN..... | XII |
| | |
| 1. USO DEL ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO EN GUATEMALA | 1 |
| 1.1 Distribución del espectro..... | 1 |
| 1.2 Crecimiento del uso del espectro..... | 9 |
| 1.3 Uso que se le da a cada banda | 10 |
| 1.4 Beneficios que ha generado el uso del espectro en el país..... | 11 |
| | |
| 2. ESTRUCTURA DE LA BANDA DE 1900 MHz..... | 15 |
| 2.1 Up-Link | 16 |
| 2.2 Down-link..... | 17 |
| 2.3 Distribución de canales CDMA y GSM en un ancho de banda de 15 MHz | 17 |
| 2.3.1 Canales de 1.25 MHz..... | 18 |
| 2.3.2 Canales de 200 KHz | 19 |
| 2.4 Uso que se le da a la banda actualmente en Guatemala | 20 |

| | |
|--|----|
| 3. CDMA sobre la banda 1900 MHz | 21 |
| 3.1 Teoría de reutilización de frecuencias | 22 |
| 3.2 CANALES DIRECTOS | 23 |
| 3.2.1 Canales Broadcast (piloto)..... | 23 |
| 3.2.2 Canales de sincronía | 24 |
| 3.2.3 Canales de paging | 25 |
| 3.3 CANALES INVERSOS | 26 |
| 3.3.1 Canales de acceso | 26 |
| 3.3.2 Canales de tráfico | 27 |
| 3.4 Portadora CDMA | 28 |
| 3.5 BTS CDMA | 29 |
| 3.5.1 Componentes..... | 31 |
| 3.6 ¿QUÉ CAPACIDAD TIENE EL SISTEMA CON ANCHO DE BANDA DE 15 MHz? | 33 |
| 3.6.1 Portadoras | 33 |
| 3.6.2 Tráfico..... | 35 |
| 3.6.3 BTS..... | 37 |
| | |
| 4. GSM sobre la banda 1900 MHz. | 39 |
| 4.1 Teoría de reutilización de frecuencias | 39 |
| 4.2 Canales de difusión | 42 |
| 4.3 Canales de control común..... | 42 |
| 4.4 Canales de control dedicado (SDCCH)..... | 43 |
| 4.5 Canales de control asociado | 44 |
| 4.6 Canales de tráfico..... | 45 |
| 4.7 Portadora GSM | 45 |
| 4.8 BTS GSM | 46 |

| | |
|--|----|
| 4.8.1 Componentes..... | 48 |
| 4.9 CON UN ANCHO DE BANDA DE 15 MHz, ¿QUÉ CAPACIDAD TIENE EL SISTEMA?..... | 50 |
| 4.9.1 Portadoras..... | 50 |
| 4.9.2 Tráfico | 50 |
| 4.9.3 BTS..... | 54 |
| | |
| 5. CRITERIOS PARA EL USO DE 15 MHz. DE ANCHO DE BANDA CON TECNOLOGÍA CDMA Y GSM SIMULTÁNEAS..... | 55 |
| 5.1 Nacimiento y crecimiento de CDMA y GSM | 55 |
| 5.2 Guatemala y la tecnología CDMA y GSM..... | 56 |
| 5.3 Criterios de uso del espectro radio eléctrico | 57 |
| 5.3.1 Sistema CDMA..... | 57 |
| 5.3.1.1 Utilización de una portadora CDMA..... | 57 |
| 5.3.1.2 Criterio de ampliación de portadoras CDMA | 58 |
| 5.3.1.3 Implicaciones o efectos generales de más portadoras..... | 61 |
| 5.3.1.3.1 Equipo | 62 |
| 5.3.1.3.2 Espectro..... | 63 |
| 5.3.2 Sistema GSM | 64 |
| 5.3.2.1 Radio GSM | 64 |
| 5.3.2.2 Utilización de un radio GSM | 64 |
| 5.3.2.3 Criterio de ampliación de radios GSM | 65 |
| 5.3.2.4 Implicaciones o efectos generales de más radios | 67 |
| 5.3.2.4.1 Equipo..... | 67 |
| 5.3.2.4.2 Espectro..... | 68 |
| 5.4 CRITERIOS PARA EL ALOJAMIENTO DE DOS SISTEMAS EN UN MISMO ANCHO DE BANDA | 72 |

| | |
|--|----|
| 5.4.1 IMPLICACIONES Y EFECTOS..... | 72 |
| 5.4.1.1 Aspectos técnicos | 72 |
| 5.4.1.1.1 Ancho de banda..... | 73 |
| 5.4.1.1.2 Organización o reorganización del ancho de banda..... | 74 |
| 5.4.1.1.3 Análisis del desempeño de las portadoras actuales | 77 |
| 5.4.1.1.4 Ampliar o reducir el ancho de banda al sistema actual..... | 77 |
| 5.4.1.1.4.1 Equipo | 78 |
| 5.4.1.1.5 Ancho de banda necesario para cada sistema | 78 |
| | |
| CONCLUSIONES | 81 |
| RECOMENDACIONES | 83 |
| APÉNDICE A | 85 |
| APÉNDICE B | 94 |
| BIBLIOGRAFÍA..... | 85 |

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

| | | |
|----|--|----|
| 1 | Crecimiento de la telefonía móvil en Guatemala..... | 12 |
| 2 | Crecimiento de la telefonía fija en Guatemala..... | 13 |
| 3 | Enlaces en la interfaz aire..... | 16 |
| 4 | Canales CDMA. | 28 |
| 5 | Estación Base CDMA 1900 MHz | 30 |
| 6 | Canalización Banda A para sistema CDMA | 33 |
| 7 | Canalización Banda B para sistema CDMA..... | 34 |
| 8 | Canalización Banda C para sistema CDMA..... | 34 |
| 9 | Asignación de canales de difusión | 41 |
| 10 | Estructura de las portadoras GSM..... | 46 |
| 11 | Diagrama de bloque de una BTS GSM..... | 47 |
| 12 | Intentos de llamada en el sector uno del sitio A..... | 59 |
| 13 | Cantidad de intentos de llamada bloqueados por el sector uno del sitio A | 60 |
| 14 | Intentos de llamada bloqueados por el sector uno del sitio B. | 61 |
| 15 | Formas de alojar CDMA y GSM en el mismo ancho de banda..... | 74 |
| 16 | Formas de alojar GSM y CDMA en el mismo ancho de banda..... | 75 |
| 17 | Forma adecuada de alojar GSM y CDMA en un mismo ancho de banda.. | 76 |

TABLAS

| | | |
|------|---|----|
| I | Bandas asignadas para radio aficionados..... | 2 |
| II | Bandas reservadas | 3 |
| III | Banda asignada para AM..... | 4 |
| IV | Banda asignada para FM..... | 5 |
| V | Bandas asignadas para TV | 5 |
| VI | Bandas para PCS | 8 |
| VII | Cálculo de capacidad en Erlang de un ancho de 15 MHz, para CDMA. ... | 37 |
| VIII | Grupos y componentes de grupo, plan 4*12..... | 41 |
| IX | Ancho de banda necesario para un sistema GSM con un plan de reutilización 4*12..... | 70 |
| X | Ancho de banda necesario para un sistema GSM con un plan de reutilización 5*15..... | 71 |
| XI | Ancho de banda necesario para un sistema GSM con un plan de reutilización 7*21..... | 71 |

GLOSARIO

| | |
|-----------------------|---|
| ANCHO DE BANDA | Es la diferencia de un rango de frecuencias necesario para transmitir información. |
| BTS | Estación Base de Transmisión y Recepción. Es el equipo utilizado para radiar la señal CDMA o GSM. |
| CANAL RF | Canal de Radio Frecuencia utilizado por la tecnología CDMA y GSM para transmitir voz o datos. Los canales, RF utilizado por CDMA, tienen un ancho de banda de 1.25 MHz y los de GSM, 200 KHz. |
| CDMA | Acceso Múltiple por División de Código. Tecnología desarrollada por Qualcomm; utiliza códigos digitales para encriptar la información transmitida. |
| DOWNLINK | Canales RF utilizados para la comunicación de la estación base a las unidades móviles. |
| ESPECTRO | Ancho de banda total que posee un operador, conocido también como bandas A,B,C,D, etc. |

| | |
|---------------------------|--|
| FDMA | Acceso Múltiple por División de Frecuencia. Esta tecnología divide un canal RF en canales de menor ancho, los cuales son usados para transmitir la información. |
| FULL DUPLEX | Es un sistema de telecomunicaciones que usa dos tipos de canales RF, unos para la comunicación de las estaciones base a los móviles, y otros para la comunicación de las estaciones móviles a las estaciones base. De esta forma, un sistema Full Duplex logra mantener una comunicación bidireccional simultánea. |
| GMS | Sistema Global de comunicaciones Móviles. Esta tecnología combina el uso de FDMA y TDMA. |
| MENSAJE MULTIMEDIA | Mensaje que involucra texto, imágenes y sonido. |
| MULTIPLEXAR | Técnica utilizada para maximizar el uso de medios de transmisión. Transmitir más de un canal RF en una guía de onda. |
| TDMA | Acceso Múltiple por División de Tiempo. Esta tecnología divide el canal RF en varios espacios de tiempo, de esta forma puede alojar varias transmisiones en el mismo canal. |

UPLINK

Canales RF utilizados para la comunicación de la estación móvil a las unidades base.

RESUMEN

Guatemala vive uno de los tiempos de mayor auge en las telecomunicaciones, los operadores están realizando su mejor esfuerzo para estar dentro de la tendencia que ha marcado la tecnología de telecomunicaciones a nivel mundial.

Estos esfuerzos han iniciado con el lanzamiento de sistemas de telecomunicaciones que no eran populares en Guatemala, tal es el caso de la tecnología GSM.

CDMA fue la primera tecnología digital que acaparó mayor popularidad después de la apertura del mercado de las telecomunicaciones, pero ahora, CDMA comparte el mercado con GSM y libran una batalla no solamente para ganar la popularidad, también está en juego la adquisición de recursos para el crecimiento y desarrollo de ellas.

OBJETIVOS

Generales

1. Determinar la capacidad de uso de un ancho de banda de 15 MHz, en la banda de 1900 MHz con tecnologías CDMA y GSM simultáneas.
2. Dar al lector una herramienta técnica de la tecnología de telecomunicaciones que actualmente se usa en Guatemala.

Específicos

1. Conocer la distribución del espectro radioeléctrico en Guatemala.
2. Mostrar la distribución de los canales CDMA y GSM en un ancho de banda de 15 MHz.
3. Estudiar de forma general la estructura lógica y la capacidad de un sistema CDMA con un ancho de banda de 15 MHz.
4. Estudiar de forma general la estructura lógica y la capacidad de un sistema GSM en un ancho de banda de 15 MHz.
5. Determinar los criterios para la convivencia de las tecnologías CDMA y GSM en un ancho de banda de 15 MHz.

INTRODUCCIÓN

Actualmente, las telecomunicaciones o comunicaciones móviles, se han vuelto el medio más conocido, y más accesible económicamente para todas las personas, este medio satisface de forma eficiente la necesidad de comunicación de las personas.

Las telecomunicaciones no se han limitado solamente a satisfacer la necesidad de comunicación de las personas, ella ha entrado al mercado económico y se ha vuelto una herramienta poderosa, a través de la cual se logran transacciones a nivel mundial.

Su incursión a los mercados más importantes a nivel mundial, ha generado que los operadores amplíen su visión y busquen la forma de brindar mayor cantidad de servicios que les ayuden a realizar todas sus actividades diarias a los usuarios.

Una forma que puede adoptar un operador para brindar mayor cantidad de servicios a sus usuarios es ofreciendo dos distintas tecnologías, esto actualmente es un opción muy fuerte y las dos tecnologías que han entrado en esta opción son CDMA y GSM.

Cada una de ellas aprovecha los recursos de forma distinta, es necesario conocer cómo utilizan los recursos y qué capacidad puede alcanzar cada sistema con una determinada cantidad de espectro o ancho de banda, esto ayuda a tener un panorama claro de cada sistema. Al momento de adoptar la opción que convivan ambas tecnologías en el mismo ancho de banda, existen varios criterios que necesitamos conocer para que cada sistema tenga su desarrollo.

1. USO DEL ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO EN GUATEMALA

El rompimiento del monopolio y la creación de un ente que administre y regule el uso del espectro electromagnético, abrió la puerta a empresas y personas individuales que se interesaron en la explotación de este recurso nacional.

Actualmente cualquier persona individual y/o empresa puede utilizar una porción del espectro electromagnético si y solo si la superintendencia de telecomunicaciones que es el ente encargado de administrar y regular este recurso se lo adjudica o autoriza.

La distribución del espectro a creado un mejor control de las personas individuales y/o empresas que utilizan este recurso.

1.1 Distribución del espectro.

Haciendo un poco de historia recordamos que durante la época del monopolio en telecomunicaciones, la empresa estatal tenía el control de la gran parte del espectro potencialmente activo para el área de las comunicaciones inalámbricas. Esta entidad estatal realizaba las concesiones de explotación de espectro, prácticamente el acceso a otras empresas para el uso del espectro era nulo.

Este tipo de administración dejaba a Guatemala con un mercado completamente cerrado.

Actualmente el uso del espectro esta abierto para toda persona individual y/o empresa que cumpla con los requisitos establecidos dentro del marco legal creado para este efecto.

Las tablas siguientes muestran la distribución actual de las bandas más utilizadas en nuestro país, existe bandas de frecuencias para radioaficionados, bandas reservadas, bandas para FM, AM, TV, y bandas para sistemas de comunicaciones personales, estas ultimas bandas son la que en la actualidad han generado grandes beneficios a nuestro país.

Tabla I. Bandas asignadas para radio aficionados

| Límite Inferior | Límite Superior | Diminsional |
|-----------------|-----------------|-------------|
| 1800.000 | 1900.000 | KHz |
| 3.500 | 4.000 | MHz |
| 7.000 | 7.300 | MHz |
| 10.100 | 10.150 | MHz |
| 14.000 | 14.350 | MHz |
| 18.068 | 18.168 | MHz |
| 21.000 | 21.450 | MHz |
| 24.890 | 24.990 | MHz |
| 28.000 | 29.700 | MHz |
| 50.000 | 54.000 | MHz |
| 144.000 | 148.000 | MHz |

| | | |
|---------|---------|-----|
| 24.000 | 24.050 | GHz |
| 47.000 | 47.200 | GHz |
| 75.500 | 76.000 | GHz |
| 142.000 | 144.000 | GHz |
| 248.000 | 250.000 | GHz |

Tabla II. Bandas reservadas

| Límite Inferior | Límite Superior | Dimensional |
|-----------------|-----------------|-------------|
| 3.000 | 535.000 | KHz |
| 1705.000 | 1800.000 | KHz |
| 1900.000 | 3000.000 | KHz |
| 3.000 | 3.500 | MHz |
| 4.063 | 4.438 | MHz |
| 4.995 | 5.060 | MHz |
| 5.450 | 5.730 | MHz |
| 6.200 | 6.765 | MHz |
| 7.300 | 9.500 | MHz |
| 9.900 | 10.100 | MHz |
| 10.150 | 11.650 | MHz |
| 12.050 | 14.000 | MHz |
| 14.350 | 18.070 | MHz |
| 18.168 | 21.000 | MHz |
| 21.450 | 24.890 | MHz |
| 24.990 | 28.000 | MHz |
| 29.700 | 42.000 | MHz |

| | | |
|----------|----------|-----|
| 46.600 | 47.000 | MHz |
| 49.600 | 50.000 | MHz |
| 72.000 | 76.000 | MHz |
| 108.000 | 121.938 | MHz |
| 123.088 | 128.813 | MHz |
| 132.013 | 138.000 | MHz |
| 148.000 | 150.800 | MHz |
| 161.625 | 161.775 | MHz |
| 173.400 | 174.000 | MHz |
| 405.050 | 406.000 | MHz |
| 450.000 | 451.025 | MHz |
| 960.000 | 1240.000 | MHz |
| 1670.000 | 1850.000 | MHz |
| 1990.000 | 2110.000 | MHz |
| 2110.000 | 2290.000 | MHz |
| 2700.000 | 2900.000 | MHz |
| 3.100 | 3.400 | GHz |

Tabla III. Banda asignada para AM

| Límite Inferior | Límite Superior | Dimensional |
|-----------------|-----------------|-------------|
| 530 | 1710 | KHz |

Tabla IV. Banda asignada para FM

| Límite Inferior | Límite Superior | Dimensional |
|-----------------|-----------------|-------------|
| 87.500 | 108.000 | MHz |

Tabla V. Bandas asignadas para TV

| Límite Inferior | Límite Superior | Canal | Dimensional |
|-----------------|-----------------|--------|-------------|
| 54.000 | 60.000 | 2 VHF | MHz |
| 60.000 | 66.000 | 3VHF | MHz |
| 66.000 | 72.000 | 4VHF | MHz |
| 76.000 | 82.000 | 5 VHF | MHz |
| 82.000 | 88.000 | 6VHF | MHz |
| 174.000 | 180.000 | 7 VHF | MHz |
| 180.000 | 186.000 | 8 VHF | MHz |
| 186.000 | 192.000 | 9 VHF | MHz |
| 192.000 | 198.000 | 10 VHF | MHz |
| 198.000 | 204.000 | 11 VHF | MHz |
| 204.000 | 210.000 | 12 VHF | MHz |
| 210.000 | 216.000 | 13 VHF | MHz |
| 500.000 | 506.000 | 19 UHF | MHz |
| 506.000 | 512.000 | 20 UHF | MHz |
| 512.000 | 518.000 | 21 UHF | MHz |
| 518.000 | 524.000 | 22 UHF | MHz |

| | | | |
|---------|---------|--------|-----|
| 530.000 | 536.000 | 24 UHF | MHz |
| 536.000 | 542.000 | 25 UHF | MHz |
| 542.000 | 548.000 | 26 UHF | MHz |
| 548.000 | 554.000 | 27 UHF | MHz |
| 554.000 | 560.000 | 28 UHF | MHz |
| 560.000 | 566.000 | 29 UHF | MHz |
| 566.000 | 572.000 | 30 UHF | MHz |
| 572.000 | 578.000 | 31 UHF | MHz |
| 578.000 | 584.000 | 32 UHF | MHz |
| 584.000 | 590.000 | 33 UHF | MHz |
| 590.000 | 596.000 | 34 UHF | MHz |
| 596.000 | 602.000 | 35 UHF | MHz |
| 602.000 | 608.000 | 36 UHF | MHz |
| 608.000 | 614.000 | 37 UHF | MHz |
| 614.000 | 620.000 | 38 UHF | MHz |
| 620.000 | 626.000 | 39 UHF | MHz |
| 626.000 | 632.000 | 40 UHF | MHz |
| 632.000 | 638.000 | 41 UHF | MHz |
| 638.000 | 644.000 | 42 UHF | MHz |
| 644.000 | 650.000 | 43 UHF | MHz |
| 650.000 | 656.000 | 44 UHF | MHz |
| 656.000 | 662.000 | 45 UHF | MHz |
| 662.000 | 668.000 | 46 UHF | MHz |
| 668.000 | 674.000 | 47 UHF | MHz |
| 680.000 | 686.000 | 49 UHF | MHz |
| 692.000 | 698.000 | 51 UHF | MHz |
| 698.000 | 704.000 | 52 UHF | MHz |

| | | | |
|---------|---------|--------|-----|
| 704.000 | 710.000 | 53 UHF | MHz |
| 710.000 | 716.000 | 54 UHF | MHz |
| 716.000 | 722.000 | 55 UHF | MHz |
| 722.000 | 728.000 | 56 UHF | MHz |
| 728.000 | 734.000 | 57 UHF | MHz |
| 734.000 | 740.000 | 58 UHF | MHz |
| 746.000 | 752.000 | 60 UHF | MHz |
| 752.000 | 758.000 | 61 UHF | MHz |
| 758.000 | 764.000 | 62 UHF | MHz |
| 764.000 | 770.000 | 63 UHF | MHz |
| 770.000 | 776.000 | 64 UHF | MHz |
| 776.000 | 782.000 | 65 UHF | MHz |
| 782.000 | 788.000 | 66 UHF | MHz |
| 794.000 | 800.000 | 68 UHF | MHz |

Bandas asignadas para sistemas de comunicaciones personales (PCS)

Las bandas para FM, AM, TV. Tienen en común que se utilizan en un solo sentido, de la fuente a el receptor, el receptor no tiene una banda especifica asignada para comunicarse con el transmisor.

Las bandas de radio aficionados y las reservadas, son utilizadas dependiendo el interés de las personas y entidades que las posean.

Las bandas asignadas para PCS son especiales para sistemas full-duplex, los sistemas full-duplex son los sistemas que pueden transmitir y recibir a la vez, para transmitir y recibir a la vez estos sistemas requieren de canales específicos para transmitir (de transmisor a receptor) y otros canales específicos para recibir (de receptor a emisor).

Estas bandas son las utilizadas en los sistemas de telecomunicaciones móviles que operan actualmente en nuestro medio, la distribución se muestra en la siguiente tabla.

Tabla VI. Bandas para PCS

| Banda | Frecuencia Downlink | | Frecuencia Uplink | | Dimensional |
|-------|---------------------|-------|-------------------|-------|-------------|
| | Inicial | final | Inicial | Final | |
| A | 1930 | 1945 | 1850 | 1865 | MHz |
| D | 1945 | 1950 | 1865 | 1870 | MHz |
| B | 1950 | 1965 | 1870 | 1885 | MHz |
| E | 1965 | 1970 | 1885 | 1890 | MHz |
| F | 1970 | 1975 | 1890 | 1895 | MHz |
| C | 1975 | 1990 | 1895 | 1910 | MHz |

Existen 60 MHz de ancho de banda asignados a nivel mundial para los sistemas de comunicaciones personales, las frecuencias downlink son las frecuencias que manejan la información de las estaciones bases a las unidades móviles, las frecuencias uplink manejan la información de las unidades móviles a las estaciones bases.

1.2 Crecimiento del uso del espectro

Las bandas de PCS son las que han experimentado un crecimiento muy marcado, durante el monopolio de las comunicaciones estas bandas no eran explotadas como actualmente lo son, el pasar de tener una sola empresa de telecomunicaciones operando en el país a tener cuatro empresas y tres de ellas alojadas en las bandas PCS, esto nos da la idea del crecimiento del uso del espectro que se ha experimentado recientemente.

Este crecimiento en el uso de las bandas PCS se pueden traducir en beneficios para el país, los beneficios los experimenta la población que tiene a su alcance diversidad de servicios que funcionan sobre estas bandas, estos servicios promueven el desarrollo económico del país.

Existen otras bandas que también experimentaron un crecimiento marcado en su uso, estas bandas también han generado la creación y el ingreso al país de nuevas empresa generando beneficios importantes.

1.3 Uso que se le da a cada banda

La Ley de telecomunicaciones ha hecho tres particiones en el espectro radioeléctrico, cada partición comprende distintos anchos de banda, las particiones son: bandas para radioaficionados, bandas reservadas y bandas reguladas.

*Bandas de frecuencias para radioaficionados: Bandas de frecuencias del espectro radioeléctrico que pueden ser utilizadas por radioaficionados, sin necesidad de obtener derechos de usufructo.**

*Bandas de frecuencias reservadas: Bandas de frecuencias del espectro radioeléctrico destinadas para uso de los organismos y entidades estatales.**

Las bandas reguladas es todo el resto del espectro que no se encuentra en las bandas para radioaficionados y reservadas, para el uso de estas bandas es necesario adquirir el desecho de uso a través de los títulos de usufructo, la adquisición de estos títulos es a través de concursos públicos o subastas.

Las bandas reguladas son las bandas que han representado mayor cantidad de ingresos al país, no solamente por las subastas realizadas para la adquisición, también las empresas que han adquirido estas bandas han creado un punto importante para la economía del país.

* cursivas Ley general de telecomunicaciones.

El ordenamiento del espectro, la regulación y adquisición del mismo ha creado un eje para el desarrollo tecnológico y especialmente un desarrollo en el área de las telecomunicaciones.

1.4 Beneficios que ha generado el uso del espectro en el país

El romper el monopolio del espectro electromagnético abre la puerta para que nuevas empresas nacionales y mundiales establezcan operaciones en el país, con esto se logra impulsar un avance tecnológico, crear una nueva fuente de ingresos, crear un nuevo punto de apoyo para el desarrollo del país.

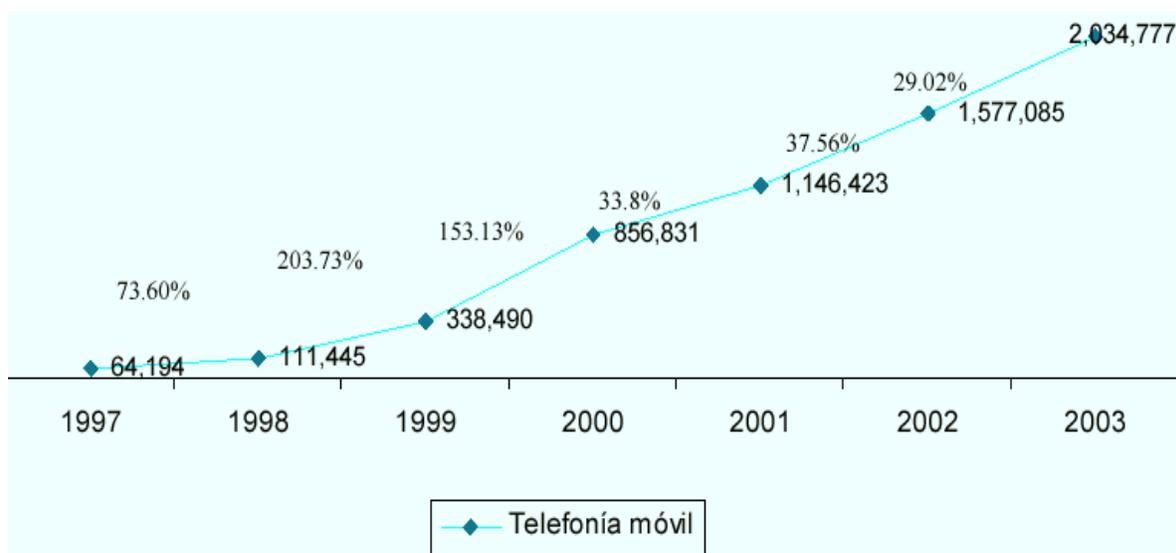
La parte del espectro que genera los más grandes beneficios son las bandas de frecuencias designadas para PCS, estas bandas están dedicadas exclusivamente para los sistemas de telefonía inalámbrica.

Los sistemas de comunicaciones inalámbricas han y siguen teniendo un crecimiento fuerte, la razón del crecimiento es que ésta forma de comunicación es ahora una necesidad.

La idea principal es, a más comunicación a lo largo y ancho de un territorio, mayores beneficios. Esta idea está causando sus efectos en Guatemala, el tener hace algunos años un poco más de 60,000 líneas móviles y ahora más de 2,000,000 nos da la idea de la necesidad de comunicación.

En las siguientes figuras se muestra un resumen detallado del crecimiento de las comunicaciones móviles en Guatemala, esta gráfica nos deja la idea de la tendencia de crecimiento experimentado en los últimos años, tendencia que puede mantenerse de acuerdo a la evolución e implementación nuevos servicios aplicables a vida social, industria y comercio.

Figura 1. Crecimiento de la telefonía móvil en Guatemala

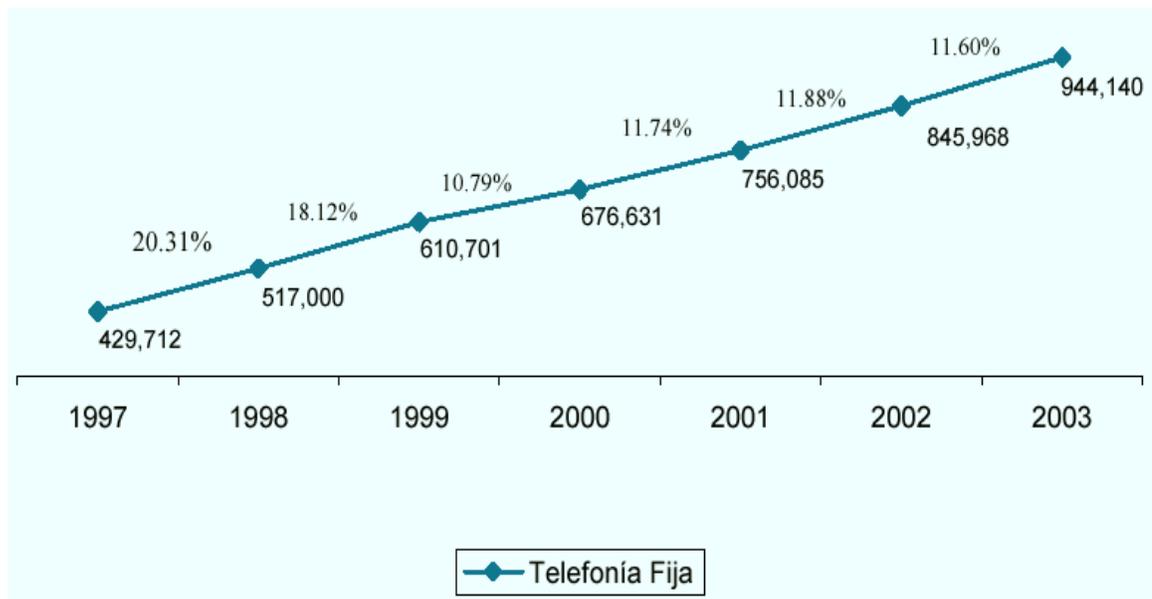


Fuente: www.sit.gob.gt

La gráfica 1 agrupa los datos de todos los operadores establecidos hasta el 31 de diciembre de 2003 en Guatemala.

Durante los últimos 3 años la telefonía móvil a mantenido una tasa de crecimiento promedio de 33.46% anual.

Figura 2. Crecimiento de la telefonía fija en Guatemala



Fuente: www.sit.gob.gt

La figura 2 agrupa los datos de todos los operadores establecidos en Guatemala hasta el 31 de diciembre de 2003.

Durante los últimos 4 años la telefonía fija a mantenido una tasa de crecimiento promedio de 11.5% anual.

Como se puede observar en las figuras anteriores, el espectro dedicado para la telefonía móvil a sido el que ha generado la mayor cantidad de beneficios para Guatemala, la razón es: las comunicaciones móviles han penetrado todas las áreas de comercio publicas y privadas, las áreas sociales, y familiares a lo largo y ancho del territorio, estas áreas han adoptado este medio de comunicación para sus operaciones porque con ellas se puede viajar grandes distancias en segundos sin necesidad de estar atado a un lugar específico.

Se a incluido la figura 2 en este trabajo para mostrar los beneficios que Guatemala a recibido en el área de las comunicaciones telefónicas fijas, una gran parte del crecimiento en esta área ha tenido lugar en el interior de Guatemala este crecimiento contribuye al desarrollo que es tan necesario en Guatemala.

2. ESTRUCTURA DE LA BANDA DE 1900 MHz

La estructura que se le da a la banda de 1900 MHz se muestra en la tabla VI, como se puede observar la banda A,B,C tienen un ancho de 15 MHz cada una, las bandas D,E,F tienen un ancho de 5 MHz cada una, las bandas de 15 MHz están siendo utilizadas para sistemas de telefonía móvil celular.

Un sistema de telefonía móvil celular necesita ser full-duplex, cuando nos referimos a sistema full-duplex la idea es que el sistema necesita tener 2 canales disponibles para el usuario, un canal es para la transmisión y el otro para la recepción de modo que el usuario pueda transmitir y recibir información de forma simultánea.

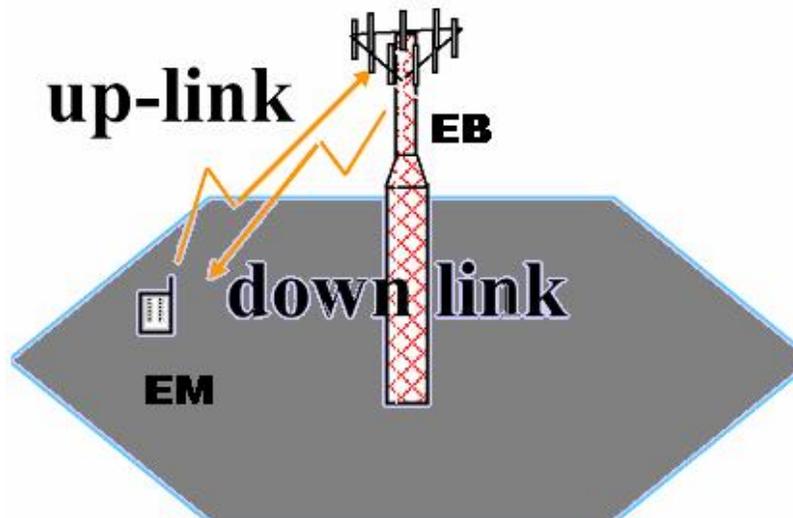
Refiriéndonos nuevamente a la tabla VI, podemos notar que estas bandas han sido especialmente diseñadas para sistemas full-duplex.

La mayoría de sistemas de telefonía móvil celular que operan en Guatemala ocupan estas bandas para su operación.

En la tabla VI se observa las bandas dedicadas para que el sistema funcione full-duplex, la banda destinada para la transmisión es la denominada Up-link y la banda destinada para la recepción es la denominada Down-link.

Lo anterior se ejemplifica en la figura 3.

Figura 3. Enlaces en la interfaz aire



EB = Estacion Base
EM = Estacion Movil

2.1 Up-Link

El ancho de banda designado para el up-link es el utilizado por la estación móvil para enviar su información ya sea voz o datos a la estación base, las estaciones móviles transmiten a baja potencia, esto hace necesario que este ancho de banda este completamente libre de interferencia alguna.

La interferencia en la banda del Up-link es de baja probabilidad debido a que existe un ente que regula el uso de esta banda, pero, al existir una señal interferente con una amplitud mayor a la amplitud de la señal que los móviles pueden generar, los móviles no podrán completar los intentos de llamada.

Otro tipo de interferencia en esta banda puede ser causada por los mismos móviles, para que este tipo de interferencia sea mínima, comúnmente se usa un esquema de control de potencia, esto hace que la estación base reciba las señales de todas las estaciones móviles a un mismo nivel.

El Up-link esta compuesto por canales de acceso y canales de tráfico.

2.2 Down-link

El ancho de banda designado para el Down-link es el utilizado por la estación base para enviar información a la estación móvil, la información que se le envía al móvil puede ser voz o datos. La potencia radiada de una estación base se divide entre los canales de control y los canales de tráfico, estos dos tipos de canales son los que forman el enlace Down-link.

2.3 Distribución de canales CDMA y GSM en un ancho de banda de 15 MHz

Comúnmente los anchos de bandas utilizados para sistemas de telecomunicaciones móviles celulares en la banda PCS son de 15 MHz, aunque existen operadores con más de 15 MHz de ancho de banda para su sistema, esto depende del poder adquisitivo del operador y de la visión que tenga sobre su sistema.

La Tecnología CDMA(Acceso Múltiple por División de Código) Y GSM(Sistema Global Móvil) son las tecnologías más fuertes en Guatemala, la mayoría de estas tecnologías utilizan la banda PCS para su sistema.

La Tecnología CDMA usa canales de 1.25 MHz, la tecnología GSM usa canales de 200 KHz.

En un ancho de banda de 15MHz la tecnología CDMA puede alojar 11canales, estos 11 canales hacen un total de 13.75 MHz el resto de ancho de banda se comparte entre los extremos y no se usa, el objetivo de los extremos es funcionar como bandas de guarda para no provocar interferencia a sistemas contiguos.

La cantidad de canales que puede alojar un ancho de banda de 15 MHz en GSM son 74, tomando en cuenta la necesidad de dejar bandas de guarda.

La distribución de los canales de 1.25 MHz para CDMA y de 200 KHz para GSM en la banda de 1900 MHz puede verse en el apéndice A.

2.3.1 Canales de 1.25 MHz

Estos canales son utilizados por la tecnología CDMA, esta tecnología asigna un código matemático único para cualquier tipo de información que se desee enviar a través de él.

La información que viaja a través de este canal es de control y tráfico, el tráfico está constituido por la voz o datos.

Estos tres tipos de información pueden viajar libremente a través de este canal, siendo reconocidos plenamente por el código que se les asigno, dentro de este canal se multiplexa toda la información para ser enviada a su destino.

Realizando una analogía del canal usado en esta tecnología suponemos una habitación en la cual se encuentra varias parejas cada pareja habla un idioma único diferente a todas las demás parejas dentro de la habitación, todas las parejas están hablando, cada pareja solo entiende lo que se habla entre ella y ve a todas las demás parejas como ruido.

De esta forma podemos ejemplificar la transmisión simultánea a través del canal de banda ancha utilizado.

2.3.2 Canales de 200 KHz

Los canales de 200 KHz son utilizados por la tecnología GSM, en esta tecnología se combina FDMA/TDMA.

El espectro disponible se divide en canales de 200 KHz, esta división es FDMA, cada canal de 200 KHz es dividido en intervalos de tiempo, específicamente 8 intervalos dentro de cada canal, esta división en tiempo es TDMA. Los ocho intervalos están numerados del 0 al 7, a través de estos intervalos de tiempo es donde se transporta la información de control, la voz y los datos.

Comúnmente el intervalo 0 es el utilizado para la información de control y como piloto, los 7 intervalos restantes son utilizados para el tráfico que sería voz o datos.

2.4 Uso que se le da a la banda actualmente en Guatemala

La banda de 1900 MHz en Guatemala es utilizada para sistemas de telecomunicaciones móviles, las tecnologías que están alojadas en esta son: CDMA (IS-95, 1xRTT, EVDO), GSM – GPRS.

3. CDMA sobre la banda 1900 MHz

CDMA es una de las tecnologías más recientes en el mercado de las comunicaciones móviles, a pesar de corta trayectoria en este mercado, esta tecnología ha entrado a dar una fuerte competencia a las tecnologías más conocidas.

CDMA inicia su aparición en una segunda generación prestando servicios de voz y transmisión de datos a baja velocidad, evoluciona a una 2.5 generación aumentando la velocidad de transmisión de datos, en esta generación la transmisión de datos se realiza por paquetes, esta 2.5 generación tiene un aumento en la capacidad de manejo de voz. La siguiente evolución que es la tercera generación incrementa en gran manera la velocidad de transmisión de datos.

En poco tiempo se espera poder experimentar una cuarta generación de esta tecnología integrando voz y video en tiempo real.

Este pequeño resumen de la evolución de CDMA nos muestra la tendencia de esta tecnología por mejorar la calidad y capacidad de sus servicios, además de integrar a ella una variedad de servicios adicionales.

Esta tecnología como cualquier otra puede continuar evolucionando e integrando nuevos servicios, pero indiscutiblemente su servicio base son las llamadas de voz.

3.1 Teoría de reutilización de frecuencias

El espectro electromagnético es un recurso escaso, este es el punto más importante de donde surge el termino reutilización de frecuencias.

Todo sistema de comunicaciones móviles está formado por las estaciones base, las estaciones base son el equipo de transmisión y recepción, este equipo proporciona un área de cobertura denominada celda, la celda debe de tener canales que son las vías que utilizan los móviles para estar enganchados a la red y para transmitir su información al momento de establecer una comunicación, estos canales son ciertas frecuencias del espectro electromagnético que posee el operador, como el operador tiene un determinado ancho de banda esto limita los canales que tiene disponibles para utilizar.

Cada celda que el operador tiene utiliza cierto número de canales, los canales que se utilizan en una celda pueden volverse a utilizar en otra celda que este a una distancia D de la primera, cuanto mayor sea la distancia D mejor es para el sistema, esto reduce la interferencia.

La Tecnología CDMA no necesita hacer uso de algún plan específico de reutilización de frecuencias esto es debido a que CDMA hace una reutilización del código de identificación de la estación base y de sus sectores, esto permite que una estación base pueda usar todo el espectro que necesite, esta es una de las grandes ventajas de esta tecnología frente a otras.

3.2 CANALES DIRECTOS

Son todos los canales que enlazan a la estación base con las unidades móviles.

3.2.1 Canales Broadcast (piloto)

En algunas documentaciones este canal también es conocido como beacom o faro, este canal define el área de cobertura de la estación base, es transmitido por todas las portadoras CDMA activas en todos los sectores en todas las estaciones base.

El canal piloto está formado por una secuencias de PN corta, todas las estaciones base comparten las mismas secuencias de PN cortas, cada estación base tiene un desplazamiento de fase específico de esta forma se diferencian, este desplazamiento de fase es el que permite una alta reutilización dentro de

una portadora CDMA. El canal piloto se transmite sin modulación y se esparce con el código Walsh cero.

Este canal es utilizado por las estaciones móviles para adquirir el sistema, para temporización y como una referencia de fase.

3.2.2 Canales de sincronía

Cuando un estación móvil adquiere el canal piloto, en ese momento también escucha el canal de sincronía con la información del sistema, esta información es esencial para la estación móvil, los parámetros que se transmiten en el mensaje de canal de sincronización son: tipo de mensaje, nivel de revisión de protocolo, nivel de revisión mínimo de protocolo, identificación de sistema, identificación de re, índice de desplazamiento de secuencia de PN de pilotos, estado de código largo, tiempo del sistema, asignación de frecuencias CDMA, velocidad de transmisión de datos del canal de radiobúsqueda (paging)

Para esparcir el canal de sincronía se usa el código Walsh 32.

3.2.3 Canales de paging

El canal de radiobúsqueda paging se transmite de la estación base hacia los móviles, existen dos velocidades a la que se puede transmitir los mensajes en este canal, 4800 y 9600 bps. Comúnmente este canal se maneja a full-rate 9600 bps.

Dentro de un sistema CDMA existe 7 funciones o códigos Walsh designados para este canal que son, de la 1 a la 7. El canal 1 (código Walsh 1) es el canal de radiobúsqueda primario, comúnmente solo se usa un canal de radiobúsqueda, los otros códigos Walsh (de 2 al 7) pueden ser utilizados como canales de tráfico directo.

El canal de radiobúsqueda transmite tres tipos de mensajes:

- Mensajes Overhead: estos mensajes contienen información necesaria para la configuración de una llamada, esta información es actualizada periódicamente para asegurarse que al momento de originar una llamada pueda completarse con éxito. Los mensajes de overhead que se transmiten son: mensaje de parámetros del sistema, mensaje de parámetros de acceso, mensaje de lista de canales CDMA, mensaje de parámetros de sistema extendido, mensaje de lista de vecinos extendida, mensaje de redireccionamiento de servicio global.

- Mensajes General: es enviado a un móvil específico o a un grupo de móviles. Este mensaje es enviado al móvil cuando cambia de central y recibe una llamada o cuando solicita servicio.
- Mensajes de asignación y órdenes: estos mensajes son enviados a los móviles para que puedan completar la adquisición de servicio en una determinada portadora CDMA o también para generar una llamada en una determinada portadora.

3.3 CANALES INVERSOS

Son los que enlazan a las estaciones móviles con la estación base.

3.3.1 Canales de acceso

El canal de acceso es la vía que tiene el móvil para comunicarse con la estación base, el móvil puede enviar dos tipos de mensajes: mensajes de respuesta y mensajes de solicitud.

Los mensajes de respuesta son porque ha recibido un mensaje de paging, los mensajes de solicitud son transmitidos por la unidad móvil de forma autónoma.

La unidad móvil transmite sus mensajes hasta que la unidad base la escucha, si la unidad base no escucha a la móvil cuando envía el primer mensaje, la unidad móvil incrementa su potencia de transmisión a un nivel superior, este proceso se continua hasta que la unidad base escucha a la móvil, por supuesto que la unidad móvil tiene un límite de potencia a transmitir, si no logra ser escuchada transmitiendo a su máxima potencia, el proceso que en ese momento intenta efectuar no se completara.

La repetición de los mensajes la unidad móvil los transmite en intervalos aleatorios para evitar colisión con otras estaciones móviles.

3.3.2 Canales de tráfico

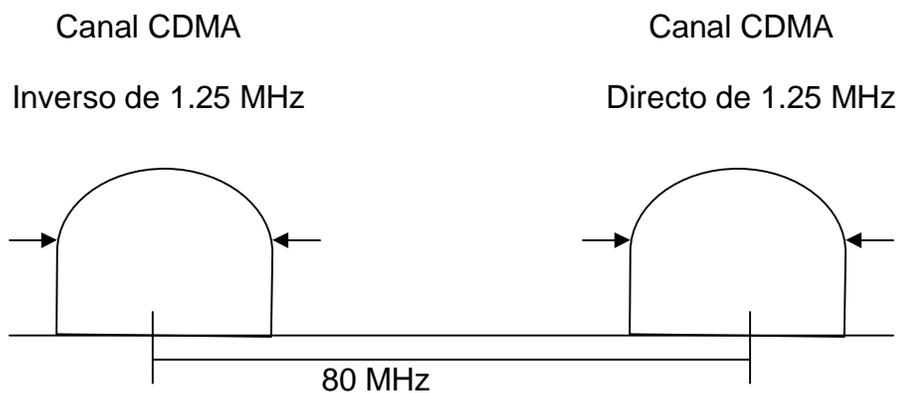
Los canales de tráfico existen en las dos vías de comunicación en un sistema de telefonía móvil, de las unidades base hacia las unidades móviles y de las unidades móviles hacia las unidades base, estos dos tipos de canales de tráfico realizan las mismas funciones, transmitir información de y para la unidad móvil, también transmiten señalización de y para la estación base durante una llamada.

La cantidad mínima de canales de tráfico son 64 que corresponden a los 64 códigos Washl, en el enlace directo de la estación base a la unidad móvil, se deben descontar los códigos ya establecidos para los canales que enlazan la estación móvil como el canal de paging, sincronía y piloto.

En la tecnología CDMA IS-95, 64 es el máximo número de códigos Walsh, con la evolución de esta tecnología se integraron a los sistemas CDMA la capacidad de transmitir datos a alta velocidad, 1xRTT es la siguiente evolución de CDMA, esta tecnología tiene la capacidad de manejar llamadas de voz y datos, este sistema incrementa la cantidad de códigos Walsh a 128 debido a que una llamada de datos puede ocupar 4,8,12,16 códigos simultáneamente, la cantidad de códigos utilizados define la velocidad a la que el usuario adquiere la información.

3.4 Portadora CDMA

Figura 4. Canales CDMA.

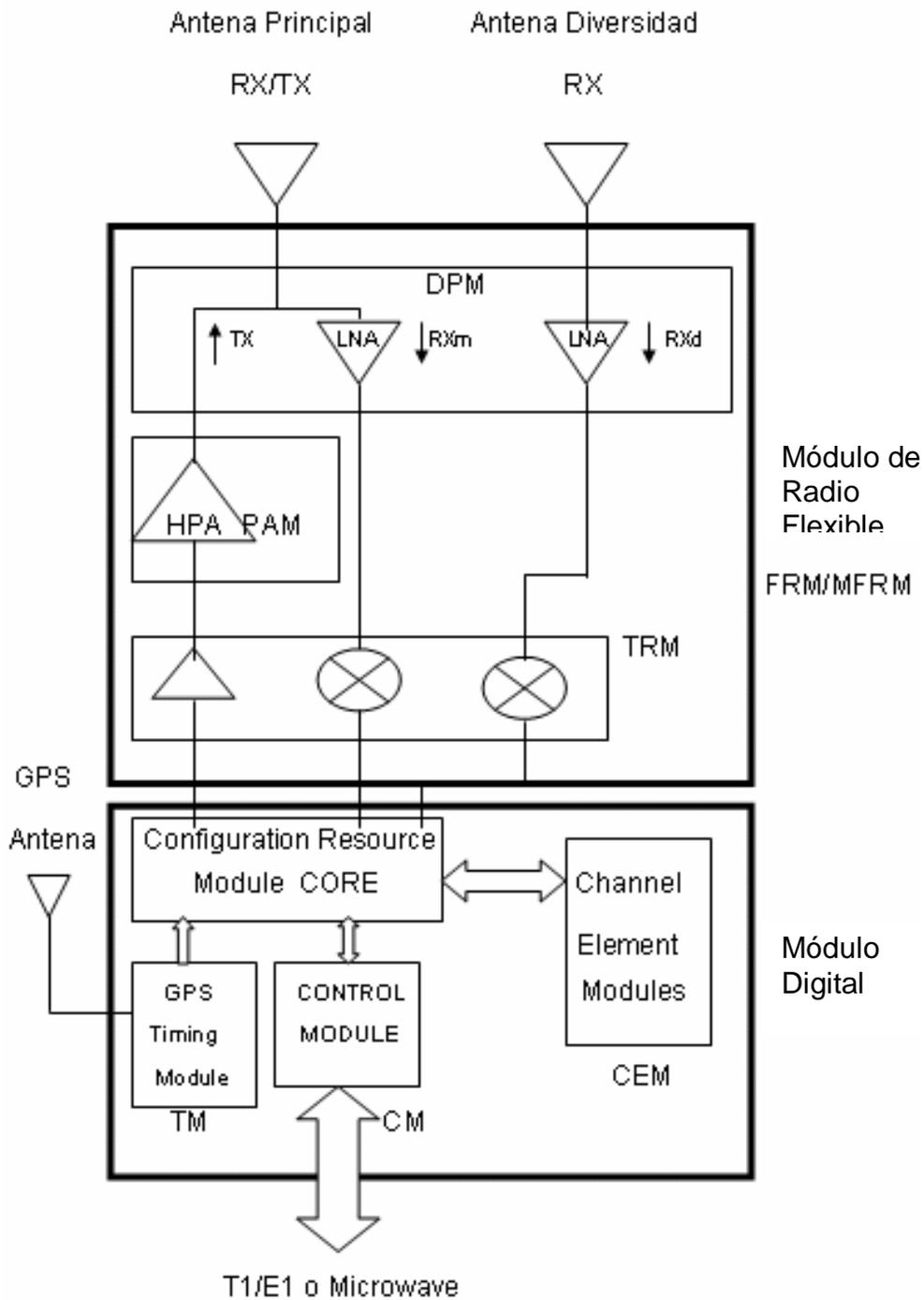


Una portadora CDMA consiste en dos anchos de banda de 1.25 MHz separados 80 MHz, como se observa en la figura 4, el canal inverso es usado por las unidades móviles y el canal directo es usado por las estaciones bases, cada canal CDMA transmite voz o datos, señalización y mensajes especiales de la red para los móviles.

3.5 BTS CDMA

La estación base de transmisión y recepción, es todo el equipo instalado en un determinado lugar con el propósito de brindar cobertura a una determinada área, las BST se configuran con 2 ó 3 sectores dependiendo el objetivo de cobertura.

Figura 5. Estación Base CDMA 1900 MHz



3.5.1 Componentes.

DPM: módulo duplexor, este componente combina la señal de transmisión y recepción radiándolas por una misma antena, provee aislamiento entre las bandas de frecuencia de transmisión y recepción, permite el uso de una antena de diversidad, filtra las señales de transmisión y recepción reduciendo las señales interferente, los componentes LNA amplificadores de bajo ruido, mantienen una buena relación señal recibida a ruido.

CORE: módulo de recursos de configuración, este módulo hace interfaz entre la CM, la CEM y FRM/MFRM, recibe señales del módulo de GPS y las distribuye a los módulos internos que necesitan ser sincronizados. La CORE enruta datos de frecuencia y sector de FRM a CEM, realiza recopilación de CEM, distribuye datos de enlace TDM a la tarjeta de canal correspondiente, hace la interfaz de todos los enlaces seriales de control de protocolo de alta velocidad, maneja la conversión eléctrica a óptica y también la comunicación óptica a cualquier dispositivo interno de la BTS.

TRM: módulo de transmisión y recepción, este módulo tiene los circuitos de transmisión y recepción main y de diversidad.

GPS: sistema de Posicionamiento Global o módulo de temporización, el sistema CDMA es un sistema sincronizado, esta es la razón por la que necesita estar enlazado al sistema de posicionamiento global, el módulo de GPS es el encargado de mantener a la BTS enlazada, esta información es transmitida a la CORE y ella la transmite al módulo de control y al módulo de elementos de canal.

CM: módulo de control, este módulo esta compuesto por dos tarjetas, una controladora y otra que sirve de interfase de paquetes para todos los componentes internos y para conectarse con el controlador de la red celular, la tarjeta que sirve de interfase enruta todos los paquetes recibidos para los módulos específicos dentro de la BTS, también realiza control y monitoreo de puertos.

CEM: módulo de elementos de canal, la funciones de estos elementos están centradas especialmente al tráfico, la CEM modula el tráfico directo y demodula el tráfico inverso, los elementos de canal son los que proveen de canales de tráfico, canal de paging, canal de acceso, canal de sincronía. La CEM esta en relación directa con la CORE, entre estos dos componentes se transmiten tráfico e información de control.

PAM: amplificador de potencia, es el que amplifica la señal a transmitir a las unidades móviles.

3.6 ¿QUÉ CAPACIDAD TIENE EL SISTEMA CON ANCHO DE BANDA DE 15 MHz?

3.6.1 Portadoras

En la banda de 1900 que inicia desde 1930 y finaliza en 1990, existen tres bandas con un ancho de 15 MHz cualquiera de estas tres bandas puede ser utilizada para sistemas de telefonía móvil celular.

En cada 15 MHz existe once portadoras disponibles, cada portadora tiene un ancho de 1.25 MHz. En las figuras 6,7 y 8 se muestran las distribuciones de las once portadoras en las tres bandas de 15 MHz disponibles.

Figura 6. Canalización Banda A para sistema CDMA

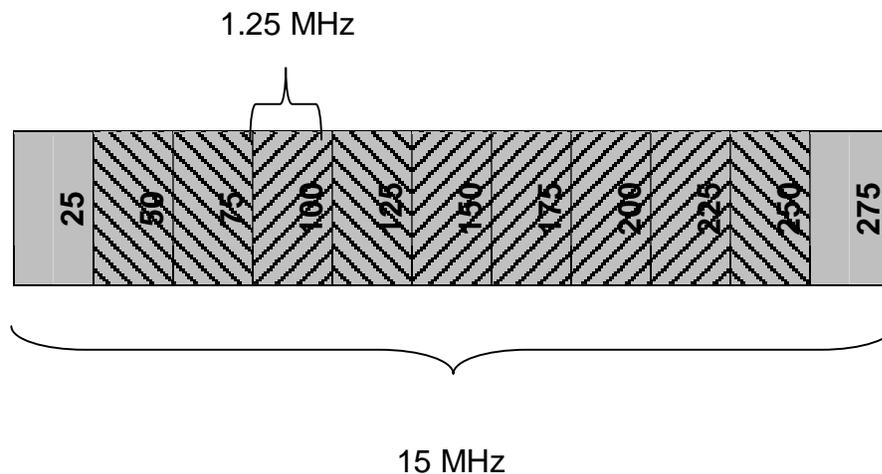


Figura 7. Canalización Banda B para sistema CDMA

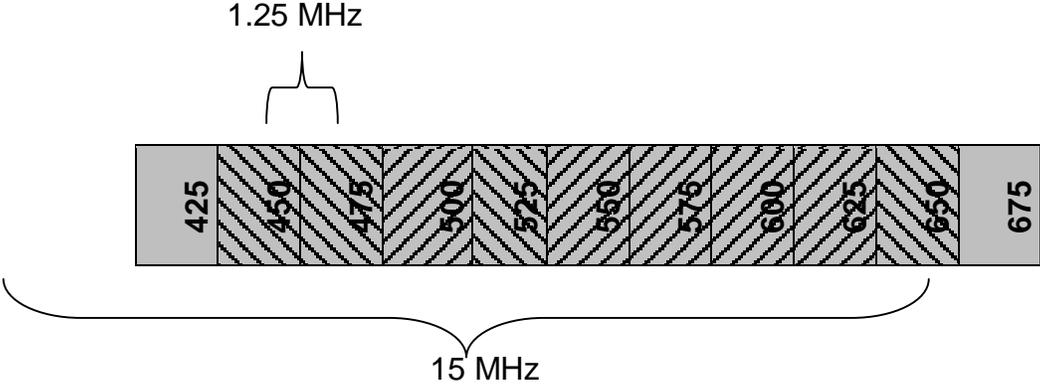
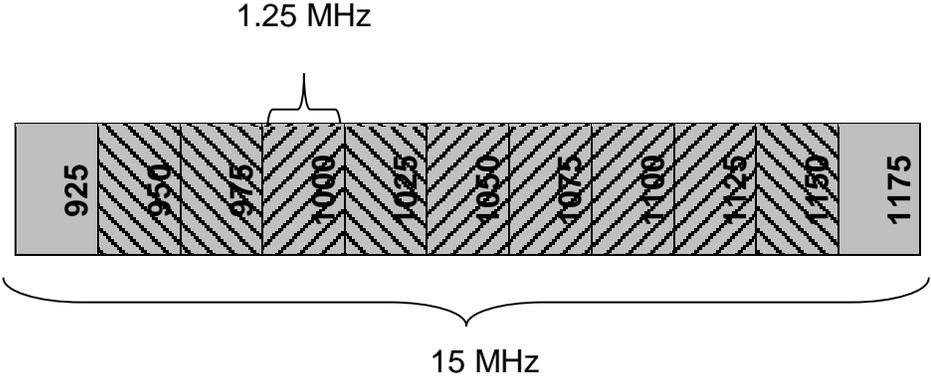


Figura 8. Canalización Banda C para sistema CDMA



3.6.2 Tráfico

El tráfico telefónico se puede catalogar como la cantidad de llamadas que se están procesando en el sistema o en una parte determinada del sistema. Todos los sistemas se aprovisionan para manejar una determinada cantidad de tráfico, si rebasa esta capacidad el sistema necesita ampliación.

Las portadoras de 1.25 MHz instaladas en una BTS son las que determinan la cantidad de tráfico que una BTS puede manejar por sector, dentro de un sistema de telefonía celular es común encontrar grupos de BTS s con una mayor cantidad de portadoras instaladas, esto es debido a el área al que proveen de cobertura.

En un sistema CDMA cada vez que se aumenta la cantidad de portadoras en uso se incrementa la capacidad del sistema y la eficiencia del mismo.

Cuando se usan varias portadoras, se puede utilizar un algoritmo llamado MCTA (Multi-Carrier Traffic Allocation) este algoritmo realiza una distribución del tráfico de forma inteligente entre las portadoras en uso, esto resulta en un incremento de la eficiencia en las portadoras y también en el incremento de la capacidad de manejo de tráfico en Erlang de la celda. Las versiones más recientes de este algoritmo permiten administrar el tráfico hasta con seis portadoras activas.

Un parámetro importante cuando se habla de tráfico telefónico es el grado de servicio o GOS (Grade Of Service) este parámetro es un componente de la calidad del servicio en una red celular, su función es definir el límite de llamadas que el sistema puede bloquear en una hora pico antes de considerarse un problema de congestión, el valor de este parámetro comúnmente se maneja al 2%.

Otro parámetro importante es la capacidad que tiene una portadora CDMA 1xRTT que es de 35 usuarios/sector/portadora.

Cálculo de capacidad con 15 MHz de ancho de banda.

Datos:

11 portadoras CDMA.

GOS = 2%

35 usuarios/sector/portadora = 1 portadora.

MCTA = 6 portadoras máximo.

2 grupos : un grupo de 5 portadoras y el segundo de 6 portadoras.

Para el cálculo del incremento de la capacidad en Erlang de la celda por el uso de MCTA se debe usar la ecuación siguiente.

$$X = PPG * MIF$$

MIF = factor de mejora con MCTA para unidades móviles es 0.55

PPG = Ganancia del pool perfecto.

$PPG = ([\text{Número de portadoras} * \text{usuarios/sector/portadora}] \text{ Erlang} / \text{Erlang en una portadora} * \text{Número de portadoras}) - 1$

Capacidad en Erlang del grupo de portadoras = Número de portadoras * Capacidad en Erlang de una portadora * (1 + X).

Tabla VII. Cálculo de capacidad en Erlang de un ancho de 15 MHz. para CDMA.

| Portadoras | U/S/P | U/S/P (Erlg) | GOS | MIF | PPG | X | Capacidad en Erlang | |
|------------|-------|--------------|-----|------|------|------|---------------------|----------|
| | | | | | | | Sin MCTA | Con MCTA |
| 5 | 35 | 26.43 | 2% | 0.55 | 0.22 | 0.12 | 132.15 | 148.25 |
| 6 | 35 | 26.43 | 2% | 0.55 | 0.23 | 0.13 | 158.58 | 179.19 |

u/s/p: usuarios/sector/portadora

En un sistema bien desarrollado podrían estar manejándose 5 portadoras por sector, si la BTS está configurada con 3 sectores, esta BTS tendría una capacidad máxima de 444.75 Erlang.

3.6.3 BTS

Las BTSs se instalan de forma estratégica para lograr una buena cobertura, a medida que el sistema crece se hace necesario que la cantidad de BTSs sea mayor, cada sector de cada BTS se identifica para los móviles a través de su canal piloto o PN, el PN en cada sector tiene un incremento fijo de cuatro, usando una cantidad máxima de 512 PNs quedan 128 PNs disponibles, asumiendo que las BTSs están configuradas con 3 sectores, tenemos un total de 42 PNs para BTSs con 3 sectores.

Para proveer de cobertura una ciudad o un país se hace necesario usar más de 42 BTSs de tres sectores, aquí es donde entra una distribución estratégica no solo de la posición de la BTs para la mejor cobertura sino de la distribución estratégica de los PNs que se les asigna, de esta forma podemos hacer una reutilización de las 42 posibilidades cuidando siempre que no se produzca en ningún lugar el fenómeno co-PN.

4. GSM sobre la banda 1900 MHZ.

Al principio de la década de los 90 GSM (Sistema Global de comunicaciones Móviles) empezó a funcionar como un sistema de comunicaciones móviles, aproximadamente un año después este sistema ya tenía un poco más de un millón de usuarios, este sistema actualmente es el más conocido alrededor del mundo, la fundación y crecimiento de este sistema fue primeramente en Europa, estos países han trabajado mucho sobre esta tecnología logrando una serie de mejoras, actualmente esta tecnología integra servicios de voz, datos y una gama muy variada de servicios de valor agregado.

La tecnología GSM fue planificada inicialmente para trabajar en la banda de 900 MHz, a medida que esta tecnología se expande alrededor del mundo, se le hace necesario el ajustarse a las bandas de frecuencias disponibles en el país, actualmente GSM puede funcionar sobre cuatro bandas 850, 900, 1800 y 1900 MHz.

4.1 Teoría de reutilización de frecuencias

En un sistema GSM las BTS usan un canal de difusión (BCCH) para mantener a los móviles enlazados al sistema, este canal también define la cobertura de la BTS, tiene las mismas funciones que el canal piloto en el sistema CDMA.

Cada sector de cada BTS necesita tener asignado un canal de difusión y con el aumento de la cantidad de BTS se hace necesario contar con una buena cantidad de canales de difusión o un plan que distribuya de forma adecuada los canales existentes.

En esta tecnología siempre se usa un plan de distribución de canales de difusión o como comúnmente se le conoce plan de reutilización de frecuencias, estos planes consisten en determinar un cierto número de canales de difusión a utilizar, estos canales se distribuyen de forma estratégica en todas las BTSs que existen y también en las que van siendo creadas a medida que el sistema crece.

Los planes de reutilización para los canales de difusión más conocidos son:

1. 4*12 este plan utiliza un ancho de banda de 2.4 MHz.
2. 5*15 este plan utiliza un ancho de banda de 3.0 MHz
3. 7*21 este plan utiliza un ancho de banda de 4.2 MHz

La elección del plan a utilizar dependerá de la cantidad de ancho de banda que se posee.

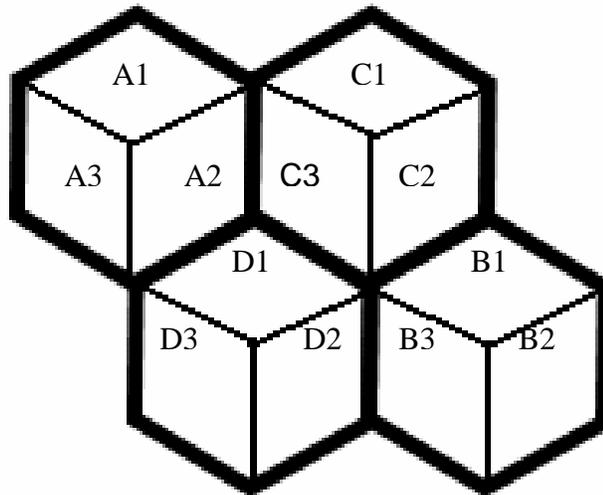
Dependiendo del plan de distribución que se use a si será la interferencia co-canal o canal adyacente que se tenga en el sistema.

Los planes de distribución asumen BTS de tres sectores, cada plan forma 4,5 y 7 grupos de tres canales cada uno, la forma de implementación se muestra en la tabla 8 y figura 9.

Tabla VIII. Grupos y componentes de grupo, plan 4*12

| Grupo | Canales | | |
|-------|---------|----|----|
| A | A1 | A2 | A3 |
| B | B1 | B2 | B2 |
| C | C1 | C2 | C3 |
| D | D1 | D2 | D4 |

Figura 9. Asignación de canales de difusión



4.2 Canales de difusión

El canal de difusión es unidireccional, transmite información de la estación base a la unidad móvil, la principal función de los canales de difusión es proveer de la suficiente información a las unidades móviles para que estén sincronizadas a la red.

Existen tres tipos de canales de difusión:

- a) Canal de control de difusión (BCCH). Este canal define la cobertura de la BTS, es utilizado por la unidad móvil para identificar en qué sector de la BTS se encuentra.
- b) Sub canal de control de frecuencia (FCCH). Es usado para mantener el control de la frecuencia en las unidades móviles.
- c) Sub canal de sincronización (SCH). Es usado para sincronizar la información que envía la unidad móvil.

4.3 Canales de control común

Son utilizados para transmitir información de señalización entre las estaciones base y las unidades móviles, la información de señalización que circula en estos canales es usada para la configuración de algún servicio, asignación de recursos y también para la ubicación de las unidades móviles dentro del sistema.

Existen tres tipos de canales de control común:

- a) Canal de acceso aleatorio (RACH): Este canal es transmitido de por las unidades móviles y es la solicitud de recursos para el inicio de algún servicio.
- b) Canal de búsqueda (PCH): A través de este canal se envían mensajes a las unidades móviles para ubicarlas y completar una llamada o algún otro servicio de la red.
- c) Canal de acceso garantizado (AGGCH): Es a través de este canal que la red completa la asignación de recursos solicitados por las unidades móviles.

4.4 Canales de control dedicado (SDCCH)

Son utilizados por el sistema GSM para transmitir información de señalización en ambas direcciones, de la BTS a las unidades móviles y viceversa, es creado por la BTS justamente al inicio de la conexión, este canal se asegura que la conexión se mantenga mientras el sistema le asigna un canal de tráfico a la conexión establecida, a través de este canal se envían mensajes de autenticación y de alerta pero no de voz o datos.

4.5 Canales de control asociado

Transmiten información de señalización en dos direcciones de la BTS a la unidad móvil y viceversa, se clasifican en canales lentos y rápidos.

- a) Canal de control asociado lento (SACCH): Se denomina asociado porque siempre existe asociado a un canal de tráfico o un SDCCH, el SACCH transmite de la BTS a el móvil instrucciones de control de potencia para regular la potencia de transmisión, también le envía información de temporización.

De la unidad móvil a la BTS el SACCH transmite información de la calidad del canal de tráfico que esta utilizando, también de la potencia de recepción, información de los BCCH vecinos.

- b) Canal de control asociado rápido (FACCH): Estos canales transmiten esencialmente la misma información que los SACCH, se activan cuando no se a dedicado un SDCCH para el usuario y se necesita enviar un mensaje, la información que transmite el FACCH se inserta dentro de las tramas de tráfico, de esta forma se gana tiempo de envío.

4.6 Canales de tráfico

La función de estos canales es transmitir voz o datos de usuario, solamente un tipo de información a la vez.

Existen dos tipos de canales de tráfico en GSM canales que transmiten a Full-rate (TCH/F) y canales que transmiten a Half-rate (TCH/H). Estos dos tipos de canales están disponibles para voz y datos.

4.7 Portadora GSM

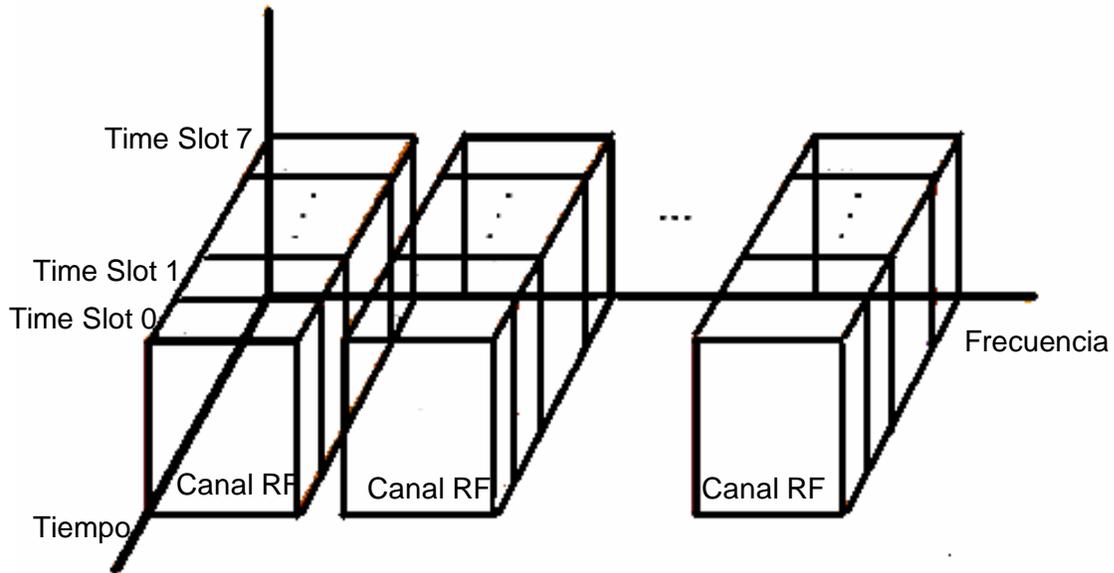
La tecnología GSM esta basada en dos modos de acceso TDMA y FDMA estas dos técnicas de acceso se integran en esta tecnología para logra una mayor eficiencia en sus canales activos.

Al decir una portadora GSM nos referimos a un canal de 200 KHz de ancho, el espectro disponible se divide en canales de este ancho, creando lo que conocemos como FDMA.

Cada canal de 200 KHz se divide en 8 espacios de tiempo conocidos como Time Slot, estas divisiones de tiempo permiten multiplexar hasta 8 transmisiones distintas en un mismo canal, esta división en tiempo crea lo que conocemos como TDMA.

Comúnmente el Time Slot 0 de un canal se usa para la transmisión de canales de control y el resto son para tráfico, los canales de tráfico transmiten voz o datos

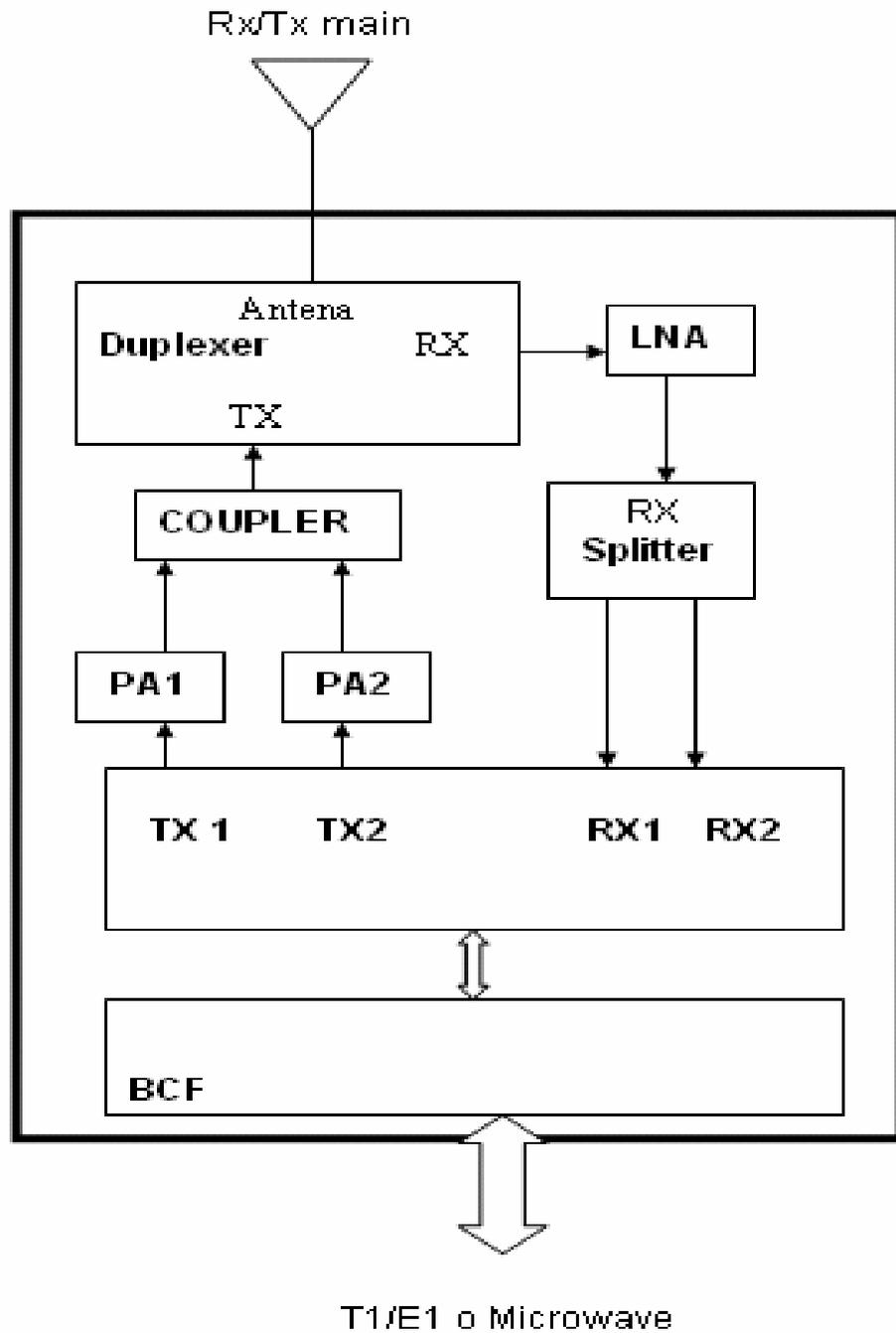
Figura 10. Estructura de las portadoras GSM



4.8 BTS GSM

La estación base de transmisión y recepción GSM tiene las mismas funciones de una BTS CDMA, se puede configurar de tres o dos sectores dependiendo el objetivo de cobertura.

Figura 11. Diagrama de bloque de una BTS GSM



4.8.1 Componentes

La figura muestra un diagrama de bloques de una BTS GSM que maneja 2 etapas de transmisión y recepción o radios, dependiendo el modelo de la BTS así será la capacidad de radios que pueda manejar por sector.

Duplexer: provee aislamiento entre la señal de transmisión y la de recepción, internamente esta compuesto por filtros que se ajustan de acuerdo a la banda en la trabaja el operador, un filtro para la señal TX o la señal a radiar y un filtro para la señal de recepción RX.

Coupler: este dispositivo es el encargado de acoplar las señales de salida de los amplificadores generando una señal de salida, esta señal pasa a través del filtro TX del Duplexes antes de ser radiada.

DRX: (driver and receiver) es conocido también como radio, este dispositivo genera la señal GSM de salida, recibe dos tipos de señal GSM, la main y la diversidad, comúnmente para recibir la señal de diversidad se hace a través de otro sistema radiante. La cantidad de DRX que una BTS puede manejar depende del modelo de la misma, el modelo más reciente es uno que puede manejar 12 DRX o RADIOS en total.

PA: son los amplificadores de potencia son los que amplifican la señal GSM de baja potencias generada del DRX.

LNA: (low noise amplifier) este componente actúa en la etapa de recepción con la señal main o diversidad, este componente provee la primer ganancia de la señal de recepción, el LNA define la sensibilidad del receptor de la BTS.

RX splitter: este dispositivo recibe la señal del LNA y la distribuye entre los DRX o radios que existan en la BTS, el RX Spliter también provee de cierto grado de amplificación a las señal.

Este dispositivo se usa en las señal RX main y también en la diversidad, si existe.

BCF: (base common functions module) es el administrador de la información que circula dentro de la BTS.

Las funciones principales de BCF son: distribución de la señalización dentro de la BTS y fuera de la BTS, distribuye el tiempo a los componentes de la BTS para que todos trabajen sincronizados, integra a la BTS con la red celular a través de la conexión con el BSC, también realiza funciones de operación y mantenimiento de los componentes de la BTS, recibe y envía el tráfico de la red celular.

4.9 CON UN ANCHO DE BANDA DE 15 MHz. ¿QUÉ CAPACIDAD TIENE EL SISTEMA?

4.9.1 Portadoras

Anteriormente describimos las portadoras GSM, cada portadora o canal GSM tiene un ancho de 200 KHz si se usa un ancho de 15 MHz, existen 75 canales dentro de los 15 MHz de los cuales podemos usar 74 porque se deja un canal de guarda.

4.9.2 Tráfico

La cantidad de tráfico que puede manejar una BTS esta determinada por la cantidad de RADIOS o DRX que tenga.

Cada radio que esté dedicado para tráfico puede manejar 8 llamadas simultaneas, debido a que un canal GSM está dividido en 8 time slots, si tenemos una BTS con un RADIO por sector la cantidad máxima de llamadas simultaneas que puede manejar serán 21, si notamos hacen falta 3 time slots éstos son usados para los canales de señalización y difusión, es uno por sector.

Dependiendo de la cantidad de tráfico que el sistema maneja, se hace necesario aumentar la cantidad de time slot para señalización por sector, comúnmente estos time slot de señalización son tomados del primer RADIO de cada sector, todos los otros RADIOS que si podrán manejar 8 llamadas simultaneas están dedicados solo para tráfico.

La mayor cantidad de tráfico que un sistema celular maneja es voz, pero las redes celulares también prestan servicios de transmisión de datos, para estos servicios se hace necesarios dejar dedicado como mínimo un time slot por sector, aunque en determinados momentos no exista demanda en transmisión de datos este time slot no puede manejar voz porque esta dedicado exclusivamente para datos. Si la demanda de tráfico de datos aumenta se hace necesario el incrementar la cantidad de time slots, estos time slots adicionales pueden configurarse de dos formas: dedicados o dinámicos.

Si se configuran dedicados no pueden cursar tráfico de voz solo datos, si no existe demanda de datos ellos están libres sin cursar tráfico alguno. Si se configuran dinámicos, ellos pueden cursar tráfico de voz mientras no exista demanda de datos.

A medida que el sistema crece se hace necesario que a las BTSs se les incremente los RADIOS, por supuesto que los gabinetes tiene una capacidad límite, pero podemos instalar otro gabinete con otro sistema radiante para seguir creciendo, pero lo que define cuanto es el máximo que un sistema puede crecer es el ancho de banda.

Si trabajamos con un ancho de 15 MHz, este espacio de frecuencias se divide en dos: uno para los canales de plan de reutilización y el resto para canales de tráfico. Dependiendo del plan de distribución que se utilice así será el espacio que quede para tráfico.

Si trabajamos con el plan 4*12 que se describió anteriormente, utilizamos 12 canales para BCCH haciendo un total de 2.4 MHz, el espacio para tráfico será de 12.6 MHz. Esto da un total de 63 canales menos uno que se utiliza de guarda, tenemos 62 canales disponibles.

Para el cálculo de la cantidad de radios por sector que una BTS puede manejar se usa la siguiente función:

$$\text{Número de radios en Hopping} / \text{Número de frecuencias disponibles para Hopping} = \text{Factor de carga.}$$

El Hopping o Frequency Hopping es una técnica utilizada en esta tecnología, la esencia de esta técnica es que cada radio transmita su información utilizando varios canales y no solamente uno, la BTS maneja un algoritmo que le asigna a cada radio una secuencia para usar los canales disponibles para tráfico, el objetivo básico de esta técnica es proveer al sistema una mayor seguridad al transmitir la información del usuario.

El factor de carga es un factor que determina la calidad del servicio, este factor se maneja a un 20%, la razón es que si se usa un factor de carga mayor tenemos la posibilidad de usar mayor cantidad de radios, cada radio usa una secuencia definida de las frecuencias disponibles para el envío de su información y si se tiene mayor cantidad de radios en uso es posible que las secuencias que se les asigne sea muy cercanas esto provocara el aumento de la interferencia co-canal o canal adyacente de gradando la calidad de la señal durante una llamada.

Cálculo de capacidad con 15 MHz de ancho de banda.

Datos:

Canales para tráfico = 62

Factor de carga = 20%

Número de Radios en Hopping (NRH) = Factor de Carga (FC)

Número de Frecuencias Disponibles (NFD)

$$NRH = FC * NFD$$

Realizando el cálculo obtenemos: la máxima capacidad que se puede tener son 12.4 radios por sector o 12 radios máximos por sector.

Los 12 radios proveen 96 canales o TCH, utilizando un GOS de 2% tenemos un total de 84.07 Erlang. Una BTS con 3 sectores podrá cursar un total de 273.57 Erlang.

4.9.3 BTS

La cantidad de BTSs a instalar en un sistema no está normada, lo que si es una limitante es la cantidad de ancho de banda dedicado para la reutilización de frecuencias, porque a medida que el sistema crece se hace necesario la instalación de BTS más cerca y si nuestro plan de reutilización utiliza pocos BCCH, es probable que canales contiguos o canales iguales queden demasiado cerca, ésta cercanía provocará interferencia dentro del sistema.

5. CRITERIOS PARA EL USO DE 15 MHz. DE ANCHO DE BANDA CON TECNOLOGÍA CDMA Y GSM SIMULTÁNEAS

5.1 Nacimiento y crecimiento de CDMA y GSM

En los capítulos anteriores se ha realizado una breve historia de estas dos tecnologías, cada una a nacido en continentes distintos, CDMA es tecnología Americana y GSM es tecnología Europea.

El desarrollo de estas tecnologías no solamente han costado inversiones millonarias sino también años de investigación y pruebas, para ambas tecnologías se han desarrollado una variedad de servicios que permiten darle la vuelta al mundo es segundos, los servicios más conocidos que estas tecnologías ofrecen son: servicios de llamadas de voz, envió de mensajes de texto y mensajes multimedia, localización, roaming, desvió de llamadas, llamadas en espera, transmisión de datos entre otros.

Estos servicios están en común en las dos tecnologías, pero la rivalidad a nivel mundial las lleva a continuar desarrollando servicios innovadores que les permitan obtener ventajas una a la otra.

Si el nacimiento y crecimiento de estas dos tecnologías generaron una revolución tecnológica a nivel mundial, el futuro de las mismas es interesante.

5.2 Guatemala y la tecnología CDMA y GSM

Después del rompimiento del monopolio interno, varias empresas establecieron operaciones en Guatemala, todas las empresas nuevas que ingresaron al país iniciaron a explotar el mercado con la tecnología CDMA, cada empresa expandió su mercado de acuerdo a su inversión y sus tácticas de mercadeo, de esta forma Guatemala empieza a experimentar los beneficios de las telecomunicaciones.

La llegada de la tecnología GSM a Guatemala es a través de los operadores ya establecidos en el país, una de las principales razones de estos operadores para introducir esta tecnología es que forman parte de entidades mundiales en telecomunicaciones, en estas entidades casi todas sus redes alrededor del mundo son GSM y desean que todas sus redes sean compatibles.

5.3 Criterios de uso del espectro radio eléctrico

5.3.1 Sistema CDMA

5.3.1.1 Utilización de una portadora CDMA

En los capítulos anteriores se ha descrito lo que es una portadora CDMA, en esta sección se describirá las formas en que se pueden utilizar una portadora CDMA. Básicamente son tres las formas de utilizarla:

- a) Sólo llamadas de voz.
- b) Sólo llamadas de datos
- c) Llamadas de voz y datos.

La capacidad de manejo de tráfico depende de la versión de CDMA que se utiliza, IS-95, 1xRTT o EVDO, estos tres son los acrónimos que identifican a las tres versiones o evoluciones de CDMA más conocidas.

En IS-95, el servicio base son las llamadas de voz.

En 1xRTT, no se puede decir que existe un servicio base porque soporta las llamadas de voz y llamadas de datos de forma simultaneas.

En EVDO, el servicio base son la llamadas de datos, esta evolución de CDMA ha sido especialmente diseñada para la transmisión de datos.

5.3.1.2 Criterio de ampliación de portadoras CDMA

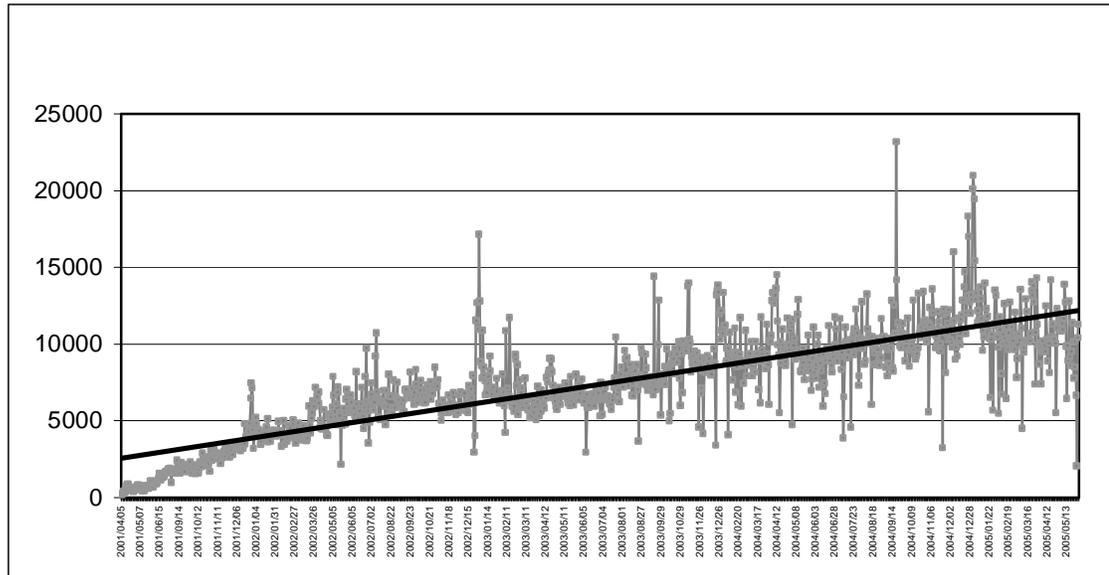
Cuando la capacidad máxima del manejo de tráfico de una portadora es superada de forma constante se hace necesario considerar el instalar y activar otra portadora.

Hacemos mención a que la capacidad máxima es superada de forma constante ya que pueden ocurrir eventos esporádicos como equipo dañado o aglomeración de personas en las cercanías del sitio por un tiempo determinado, estos eventos generan una falsa estadística del sitio.

Criterio de Intentos de llamada.

El mantener un monitoreo constante de la cantidad de intentos que recibe los sectores de las distintas estaciones base en un tiempo determinado, ayuda a determinar la tendencia de crecimiento.

Figura 12. Intentos de llamada en el sector uno del sitio A

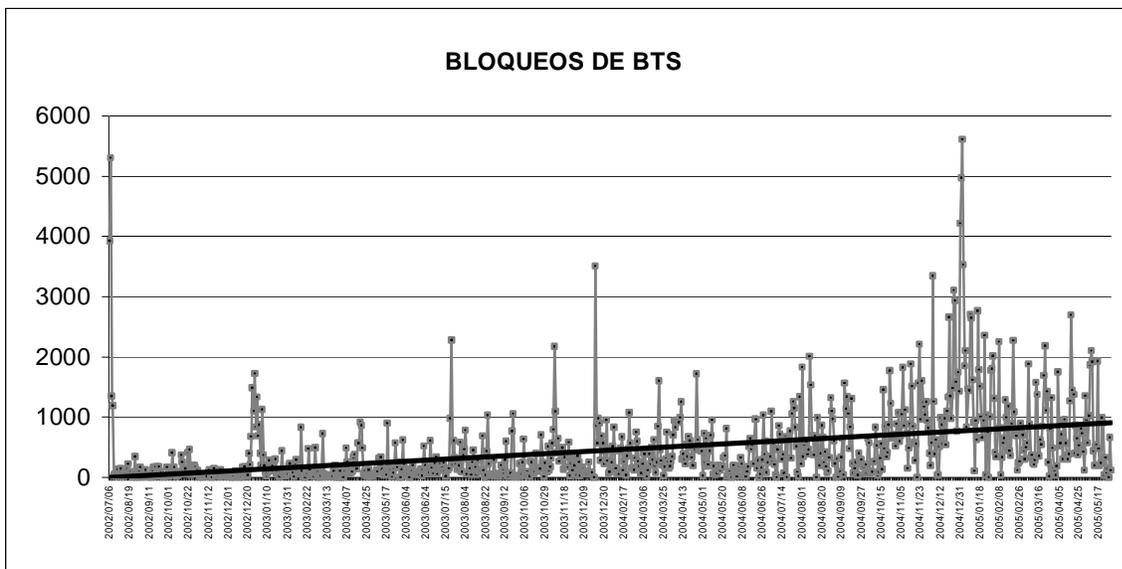


La figura 12. Muestra la cantidad de intentos de llamada que fueron recibidos diariamente en el sector 1 del sitio A.

La pendiente de la gráfica en la figura 12 es positiva y va en aumento a medida que transcurren los meses, a menos que exista una pronta ampliación en este sector, la gráfica de bloqueo de llamadas del sector también empezará a aumentar manteniendo también una pendiente positiva.

Criterio de Bloqueo de intentos de llamadas.

Figura 13. Cantidad de intentos de llamada bloqueados por el sector uno del sitio A.



La tendencia de los bloqueos de este sector mantiene un pendiente positiva, esta pendiente positiva es provocada por el aumento de intentos de llamada en el mismo sector los cuales son bloqueados por la falta de recursos instalados en este sector.

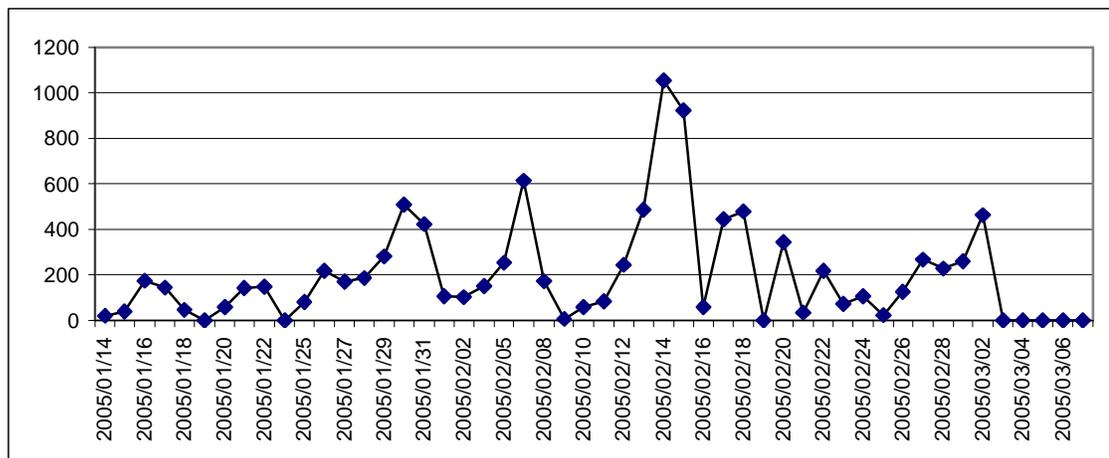
5.3.1.3 Implicaciones o efectos generales de más portadoras.

Los efectos esperados al instalar una nueva portadora en una estación base son:

- Disminuir al mínimo valor los bloqueos de llamadas causados por la falta de capacidad.
- Aumentar los niveles de llamadas completadas.
- Proveer al sitio de mayor capacidad para alojar a nuevos usuarios.
- Mejorar la calidad del servicio prestados.

Otros aspectos importantes que debemos recordar es: la implementación de una segunda portadora en un sitio no mejora el área de cobertura.

Figura 14. Intentos de llamada bloqueados por el sector uno del sitio B.



La figura 14 muestra el principal efecto de la instalación de otra portadora en un sector de un sitio. Como se puede observar este sector a mantenido una cantidad de bloqueos diarios hasta el día que la segunda portadora se activo. Después de la activación de la segunda portadora los bloqueos diarios de este sector son prácticamente cero.

5.3.1.3.1 Equipo

En el capítulo 3 se ha mostrado los componentes que son necesarios para una BTS CDMA.

El Módulo de Radio Flexible (FRM) que esta compuesto por: Módulo Duplexor (DPM), Amplificador de potencia (PAM) y Módulo de Transmisión Recepción (TRM).

El Módulo Digital que esta compuesto por: Módulo de Configuración de Recursos (CORE), Módulo de Control (CM) y Módulo de Elementos de Canal (CEM)

El Módulo de Radio Flexible puede ser de dos formas:

1. Portadora Simple: Cuando el módulo de radio flexible es simple todos sus componentes tienen la capacidad de alojar a una sola portadora. Si la BTS contiene equipo de este tipo, para instalar una segunda portadora se hace necesario instalar todo un segundo módulo de radio flexible.

2. Portadora múltiple: Cuando el módulo de radio flexible es múltiple todos los componentes tienen la capacidad de alojar varias portadoras.

En el módulo Digital, el módulo de configuración de recursos y el módulo de control pueden tener la capacidad de alojar varias portadoras. Solamente si no existe capacidad en estos elementos la adquisición de equipo nuevo se hace necesaria.

Cada portadora debe ser proveída de elementos de canal CEM, existe un límite de elementos de canal que pueden instalarse, este límite lo da el tipo de BTS utilizada.

Si la portadora activada no tiene los suficientes elementos de canal, la portadora puede empezar a presentar bloqueos de intentos de llamada.

5.3.1.3.2 Espectro

En CDMA cada vez que se utiliza una portadora se consume un ancho de banda de 1.25 MHz.

La instalación y activación de otra portadora se hace en áreas donde la demanda es fuerte, también se considera que la inversión para la instalación y activación de otra portadora es igualmente fuerte, estos dos factores provocan que existan áreas con cantidad de espectro en uso distintas. Incluso pueden existir sitios de celda con distinta cantidad de portadoras activas en sus sectores.

5.3.2 Sistema GSM

5.3.2.1 Radio GSM

En la figura 10 observamos la estructura de las portadoras GSM, cada portadora GSM esta compuesta por 8 espacios de tiempo denominados Time Slot o TS. A estos 8 espacios de tiempo es lo que denominamos Radio GSM o Frame TDMA.

5.3.2.2 Utilización de un radio GSM

Cada uno de los 8 TS que componen un radio GSM pueden ser utilizados de varias formas:

TS para tráfico de voz o datos

TS para control o señalización.

El operador decide como utilizar los radios disponibles en cada sector de sus BTS`s, puede configurar radios solo para voz, radios solo para datos y radios que compartan TS para voz y datos.

Los TS que se configuran para datos puede ser dinámicos o estáticos, si se configuran de forma estática estos TS solo pueden alojar llamadas de datos, si no existen llamadas de datos estos TS permanecen vacíos.

Los TS dinámicos pueden alojar llamadas de voz y datos dependiendo la prioridad, si no existen llamadas de datos los TS dinámicos pueden ser utilizados para alojar llamadas de voz.

5.3.3.3 Criterio de ampliación de radios GSM

Un Frame TDMA para GSM contiene 8 TS, cada TS pueden alojar una llamada, de estos 8 TS mínimo 1 TS se usa para la señalización, dependiendo de la cantidad de usuarios la señalización puede alojarse en un solo TS, si la señalización es bastante fuerte se necesitara configurar más de un TS.

Los TS que se configuran para señalización no se usan para el alojamiento de llamadas de voz o datos, esto reduce la capacidad real del manejo de tráfico.

Los criterios para la ampliación de radios en GSM son los mismos que en CDMA.

Criterio de intentos de llamada

El monitoreo constante de la cantidad de intentos de llamada recibidos en los sectores de las distintas estaciones base en un tiempo determinado, ayuda a determinar la tendencia de crecimiento de los sectores, si la pendiente de la tendencia es positiva, el sector esta creciendo en intentos de llamada, esto podrá provocar que en un tiempo determinado la capacidad actual del sector no sea suficiente para proveer de un canal de tráfico a algunos intentos generados.

Una de las mejores opciones de monitoreo de intentos de llamada es, a corto plazo o diario y a largo plazo o historial.

El monitoreo a corto plazo permite visualizar las horas en las cuales los intentos de llamada se elevan.

El monitoreo a largo plazo nos permite visualizar un historial del comportamiento de cualquier sector de cualquier estación base pasado y presente.

Estos dos tipos de monitoreo son las herramienta que ayudan a que las ampliaciones se realicen donde deben ser realizadas.

Criterio de Bloqueos de intentos de llamada

Los bloqueos de intentos de llamada se presentan en el momento que la demanda de llamadas rebasa la capacidad del sector.

Si los intentos de llamada en un sector van en aumento constante, existe probabilidad que los bloqueos de llamada empiecen a presentarse después de cierto tiempo.

El mantener el monitoreo de los bloqueos de llamada de la misma forma que los intentos, ayudará a que las ampliaciones se realicen por motivo de demanda y no de fallas.

5.3.2.4 Implicaciones o efectos generales de más radios

Los efectos esperados al realizar ampliaciones de radios en una estación base son:

- Disminuir al mínimo valor los bloqueos de llamadas causados por la falta de capacidad.
- Aumentar los niveles de llamadas completadas.
- Proveer al sitio de mayor capacidad para alojar a nuevos usuarios.
- Mejorar la calidad del servicio prestados.

5.3.2.4.1 Equipo

Refiriéndonos a la gráfica 11 que es el diagrama de bloques de una BTS GSM, podemos observar que será necesario una etapa de transmisión y una de recepción.

En la etapa de transmisión el módulo DRX controla los canales de RF, los canales RF alojan a los 8 TS que conforman un radio o frame TDMA, pueden existir DRX que puedan controlar uno o más canales RF esto depende del fabricante, cada canal RF necesita su propio amplificador.

Se puede multiplexar las salidas de varios amplificadores para obtener una sola, la cantidad de salidas de amplificadores que podemos multiplexar depende del tipo de coupler que se use, la ventaja que presenta esta técnica es: podemos utilizar solamente un sistema radiante (antena y guía de onda) para radiar todos los canales RF multiplexados. Desventaja: el coupler inserta una pérdida de potencia que se incrementa de acuerdo a la cantidad de entradas que posee, esta pérdida insertada decrementa la potencia radiada provocando que la cobertura se reduzca.

Existen técnicas para minimizar este efecto.

- a) Instalar equipo adicional: este equipo compensa las pérdidas ocasionadas por el coupler.
- b) Utilizar varios sistemas radiantes: Esto permite que se utilicen coupler con pocas entradas, de esta forma la pérdida que inserta el coupler será mínima y la pérdida de cobertura también.

5.3.2.4.2 Espectro

El Espectro o ancho de banda utilizado en GSM se divide en dos partes.

Espectro utilizado para el plan de reutilización, este espectro está compuesto de un determinado número de canales RF, por ejemplo el plan 4*12 utiliza 12 canales RF que se distribuyen en 4 sitios de celda con 3 sectores cada uno.

Este canal es asignado a un radio en cada sector, este canal identifica al sector, determina la cobertura del sector y provee los canales de control necesarios para que los móviles estén atados a la red. Este canal RF esta fuera de las frecuencias utilizadas para el Hopping.

Espectro utilizado para tráfico, se requiere tener una cierta cantidad de frecuencias disponibles para el Hopping estas frecuencias determinan la cantidad de radios que se pueden instalar en los sectores de los sitios de celda. Las frecuencia disponibles para el Hopping son las utilizadas en los radios de tráfico, cada radio de tráfico no tiene una frecuencia fija, ellos toman una frecuencia del las disponibles para el Hopping por un determinado tiempo.

Las tablas 9,10 y 11 muestran el ancho de banda que necesita un sistema GSM para ampliar capacidad.

La primer columna muestra el plan de reutilización que utiliza en sistema, la columna dos muestra es ancho de banda en MHZ necesario para el plan de reutilización, la columna tres la cantidad de radios para tráfico, lo columna cuatro muestra la cantidad de canales RF necesarios para que el Hopping pueda efectuarse, la columna cinco muestra el ancho de banda en MHZ necesarios para los radios de tráfico, la columna seis muestra la cantidad total de radios por sector incluyendo el radio que contiene la frecuencia del plan de reutilización, la columna siete muestra el total de ancho de banda usado por el sistema.

Tabla IX. Ancho de banda necesario para un sistema GSM con un plan de reutilización 4*12

| Frecuencias Fijas Plan Reutilización | Ancho de Banda Fijo Plan de Reutilización en MHZ | Ampliación de Radios en HP | Canales necesarios para Frequency Hopping | Ancho de banda usado por radios en FH en MHZ | Cantidad total radios por sector | Total Ancho de banda en MHZ |
|--------------------------------------|--|----------------------------|---|--|----------------------------------|-----------------------------|
| 4*12 | 2.4 | 1 | 5 | 1 | 2 | 3.4 |
| 4*12 | 2.4 | 2 | 10 | 2 | 3 | 4.4 |
| 4*12 | 2.4 | 3 | 15 | 3 | 4 | 5.4 |
| 4*12 | 2.4 | 4 | 20 | 4 | 5 | 6.4 |
| 4*12 | 2.4 | 5 | 25 | 5 | 6 | 7.4 |
| 4*12 | 2.4 | 6 | 30 | 6 | 7 | 8.4 |
| 4*12 | 2.4 | 7 | 35 | 7 | 8 | 9.4 |
| 4*12 | 2.4 | 8 | 40 | 8 | 9 | 10.4 |
| 4*12 | 2.4 | 9 | 45 | 9 | 10 | 11.4 |
| 4*12 | 2.4 | 10 | 50 | 10 | 11 | 12.4 |
| 4*12 | 2.4 | 11 | 55 | 11 | 12 | 13.4 |
| 4*12 | 2.4 | 12 | 60 | 12 | 13 | 14.4 |

Tabla X. Ancho de banda necesario para un sistema GSM con un plan de reutilización 5*15

| Frecuencias Fijas Plan Reutilización | Ancho de Banda Fijo Plan de Reutilización en MHZ | Ampliación de Radios en FH | Canales necesarios para Frequency Hopping | Ancho de banda usado por radios en FH en MHZ | Cantidad total radios por sector | Total Ancho de banda en MHZ |
|--------------------------------------|--|----------------------------|---|--|----------------------------------|-----------------------------|
| 5*15 | 3 | 1 | 5 | 1 | 2 | 4 |
| 5*15 | 3 | 2 | 10 | 2 | 3 | 5 |
| 5*15 | 3 | 3 | 15 | 3 | 4 | 6 |
| 5*15 | 3 | 4 | 20 | 4 | 5 | 7 |
| 5*15 | 3 | 5 | 25 | 5 | 6 | 8 |
| 5*15 | 3 | 6 | 30 | 6 | 7 | 9 |
| 5*15 | 3 | 7 | 35 | 7 | 8 | 10 |
| 5*15 | 3 | 8 | 40 | 8 | 9 | 11 |
| 5*15 | 3 | 9 | 45 | 9 | 10 | 12 |
| 5*15 | 3 | 10 | 50 | 10 | 11 | 13 |
| 5*15 | 3 | 11 | 55 | 11 | 12 | 14 |
| 5*15 | 3 | 12 | 60 | 12 | 13 | 15 |

Tabla XI. Ancho de banda necesario para un sistema GSM con un plan de reutilización 7*21

| Frecuencias Fijas Plan Reutilización | Ancho de Banda Fijo Plan de Reutilización en MHZ | Ampliación de Radios en FH | Canales necesarios para Frequency Hopping | Ancho de banda usado por radios en FH en MHZ | Cantidad total radios por sector | Total Ancho de banda en MHZ |
|--------------------------------------|--|----------------------------|---|--|----------------------------------|-----------------------------|
| 7*21 | 4.8 | 1 | 5 | 1 | 2 | 5.8 |
| 7*21 | 4.8 | 2 | 10 | 2 | 3 | 6.8 |
| 7*21 | 4.8 | 3 | 15 | 3 | 4 | 7.8 |
| 7*21 | 4.8 | 4 | 20 | 4 | 5 | 8.8 |
| 7*21 | 4.8 | 5 | 25 | 5 | 6 | 9.8 |
| 7*21 | 4.8 | 6 | 30 | 6 | 7 | 10.8 |
| 7*21 | 4.8 | 7 | 35 | 7 | 8 | 11.8 |
| 7*21 | 4.8 | 8 | 40 | 8 | 9 | 12.8 |
| 7*21 | 4.8 | 9 | 45 | 9 | 10 | 13.8 |
| 7*21 | 4.8 | 10 | 50 | 10 | 11 | 14.8 |

5.4 CRITERIOS PARA EL ALOJAMIENTO DE DOS SISTEMAS EN UN MISMO ANCHO DE BANDA

En la actualidad algunas empresas de telecomunicaciones han decidido compartir su ancho de banda entre dos tecnologías, las razones podrían ser que una tecnología preste servicios de mejor calidad que otra o simplemente que el operador desea tener varias opciones para sus clientes.

5.4.1 IMPLICACIONES Y EFECTOS

El operador que a decidido lanzar al mercado un nuevo sistema de telecomunicaciones, inicia oficialmente obteniendo las respectivas autorizaciones, después realiza el despliegue de toda la infraestructura necesaria, desarrolla una buena estrategia de publicidad y realiza la presentación oficial de su nuevo sistema de telecomunicaciones. Esta es una forma muy escueta de describir el proceso de desarrollar este plan, en realidad este desarrollo puede llevar bastante tiempo e involucrar a cientos de personas.

5.4.1.1 Aspectos técnicos

Existe una gama muy amplia de aspectos técnicos que involucra este plan, nosotros mencionaremos los aspectos que pueden ser una ventaja y reducir los costos totales.

El equipo o equipo que no hace ninguna distinción en tipo de sistema o tecnología para funcionar, es uno de los aspectos que se pueden aprovechar, el servidor de correos de voz y el servidor de mensajes de texto son un ejemplo de este equipo. Este tipo de equipo requiere de una ampliación de capacidad para que pueda alojar a los nuevos usuarios captados a través de nuestro nuevo sistema.

La infraestructura de los sitios de celda ya existentes es otro aspecto que se puede aprovechar, resultando en un mismo sitio de celda radiando dos tecnologías distintas.

5.4.1.1.1 Ancho de banda

El ancho de banda es otro recurso que se compartirá entre los dos sistemas, recordamos que es un recurso limitado en cantidad y tiene una capacidad máxima.

La cantidad de este recurso determina la capacidad del mismo, por esto es muy importante el conocer bien el recurso que poseemos para realizar una proyección a futuro para saber que alcance puede tener cada sistema cuando estén conviviendo en el mismo ancho de banda.

5.4.1.1.2 Organización o reorganización del ancho de banda

El ancho de banda por sus condiciones de limitado y ahora compartido entre dos tecnologías, obliga a que exista una buena organización o reorganización de su uso.

Criterios de organización o reorganización:

Ubicación de cada tecnología:

Inicialmente cuando se trabaja con una sola tecnología es posible utilizar portadoras en posiciones no contiguas en el espectro, esto es mucho más común en CDMA y depende del equipo utilizado. La decisión de compartir el espectro obliga a reorganizar las portadoras utilizadas, este proceso puede requerir la adquisición de nuevo equipo.

Figura 15. Formas de alojar CDMA y GSM en el mismo ancho de banda.



Figura 16. Formas de alojar GSM y CDMA en el mismo ancho de banda.



Ancho de banda de guarda:

Debe de existir un determinado ancho de banda de guarda entre ambas tecnologías, esto es necesario para eliminar la posibilidad de causar interferencia una a la otra, la cantidad mínima de ancho de banda de guarda debe ser de 600 MHz.

Plan de reutilización de frecuencias:

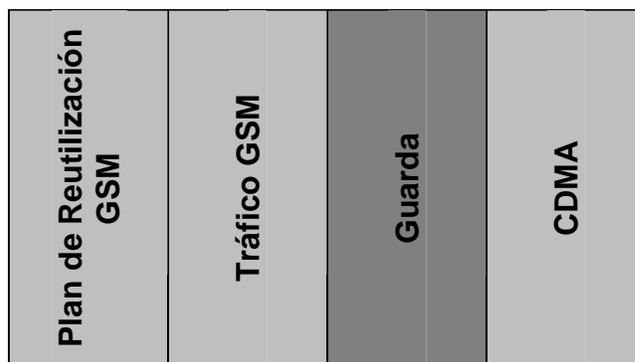
En CDMA el plan de reutilización de frecuencias es 1 a 1, esto nos indica que no necesitamos un canal RF o portadora específico para identificar cada sector de un sitio de celda, porque dentro de la portadora de 1.25 MHz de ancho están alojados los canales de señalización que hacen la función de identificación y los canales de tráfico.

En GSM el plan de reutilización no es 1 a 1, esto nos indica que se requiere dedicar una canal RF para cada sector de cada sitio de celda que realice la función de identificación. Los planes de reutilización más conocidos son: 4*12 que usa 2.4 MHz, 5*15 que usa 3 MHz y 7*21 que usa 4.8 MHz.

La ubicación del ancho de banda para el plan de reutilización es importante, se debe ubicar en un lugar del espectro dedicado a GSM que nos garantice que no será afectado por el crecimiento.

La gráfica 17 muestra una ubicación ideal de ancho de banda del plan de reutilización, si la cantidad de sitios de celda crece y se hace necesario que el plan de reutilización crezca, podremos tomar canales de tráfico para resolver el problema.

Figura 17. Forma adecuada de alojar GSM y CDMA en un mismo ancho de banda



De igual manera si GSM queda ubicado en la parte final del espectro, la posición ideal de los canales RF para el plan de reutilización es la parte final del espectro.

5.4.1.1.3 Análisis del desempeño de las portadoras actuales

Con la decisión de compartir el espectro con dos tecnologías, necesitamos dedicar la cantidad de espectro adecuada para cada sistema.

Es necesario realizar un análisis del desempeño de las portadoras en uso actual, la idea es dejar el uso del espectro lo más homogéneo posible en todas las áreas de cobertura.

5.4.1.1.4 Ampliar o reducir el ancho de banda al sistema actual

Dentro del mapa de cobertura pueden existir áreas en las cuales el uso del espectro sea completamente diferente a la mayoría de áreas, pero al volver homogéneo el uso del espectro, estas áreas deben de desaparecer.

Para volver homogéneo el uso del espectro en todo el mapa de cobertura, se debe ampliar o reducir la cantidad de portadoras utilizadas.

Si se reduce la cantidad de portadoras en uso, la pérdida de esta capacidad debe compensarse, con la instalación de nuevos sitios de celda que deberán tomar el tráfico que las portadoras eliminadas dejen.

5.4.1.1.4.1 Equipo

Si se decide aumentar o reducir la cantidad de portadoras en uso, se hace necesario realizar un balance en toda la red.

Al reducir la cantidad de portadoras en uso, se hace necesario la instalación de nuevos sitios de celda en puntos estratégicos que tomaran el tráfico de las portadoras ausentes, se debe realizar un inventario para conocer cuanto equipo debemos adquirir.

Al aumentar la cantidad de portadoras en uso, se debe adquirir nuevo equipo para todos los sitios de celda que necesiten.

5.4.1.1.5 Ancho de banda necesario para cada sistema

El operador puede fijar su visión en uno de los dos sistemas que administra, de acuerdo a su visión el operador puede realizar estrategias de mercadeo para lograr que los usuarios se inclinen por una u otra tecnología, esto provocará el crecimiento en la cantidad de usuarios en una tecnología, este crecimiento define la necesidad de aumentar la cantidad de ancho de banda a usar.

Es difícil el definir un ancho de banda fijo para cada tecnología, porque como se menciona en el párrafo anterior este recurso se utiliza de acuerdo al crecimiento que tenga cada tecnología.

Es muy necesario el mantener monitoreo constante del crecimiento de cada tecnología, esto permitirá conocer que tecnología requiere de mayor cantidad de recurso. Cuando un sistema refleja la necesidad de mayor cantidad de recursos, esta petición debe de satisfacerse ya que de no ser así la calidad del servicio que se presta se ve deteriorada.

CONCLUSIONES

1. El ancho de banda, que es el principal recurso para un sistema de telecomunicaciones, determina la capacidad de crecimiento de un sitio de celda.
2. El ancho de banda que cada tecnología usará, depende del plan de crecimiento que el operador decida para cada tecnología.
3. En CDMA, la cantidad de sitios de celda que se pueden instalar, no está sujeta a la cantidad de ancho de banda que se posee.
4. En GSM se debe dedicar un determinado ancho de banda que utilizarán todos los sitios de celda para su identificación, si este ancho es pequeño y la cantidad de sitios es alta, la calidad de la señal se deteriora.
5. Si existe en una determinada área, una cantidad considerable de sitios de celda y los sitios se encuentran cercanos entre ellos, se hace necesario dedicar una cantidad mayor de ancho de banda para mantener la interferencia en bajos niveles.
6. Usando un ancho de banda de 15 MHz, la tecnología CDMA logra desarrollar mayor capacidad en manejo de tráfico que la tecnología GSM.
7. La convivencia de tecnología CDMA y GSM en un ancho de banda de 15 MHz, es posible.

8. CDMA es una tecnología inmune al ruido interno, GSM es una tecnología muy susceptible al ruido que genera el sistema de forma interna, por eso un sitio de celda que radia ambas tecnologías a nivel RF, continúa siendo dos sitios distintos.

9. En Guatemala, la banda de 1900 es la que se utiliza con mayor frecuencia para los sistemas de telecomunicaciones, pero pueden utilizarse otras bandas como la de 800, 900, 1800 que son utilizadas en otros países, los criterios que hemos aplicado a la banda de 1900 son también aplicables a cualquier banda.

RECOMENDACIONES

1. Todo sistema de telecomunicaciones mantiene un crecimiento, este crecimiento involucra la utilización de mayor cantidad de ancho de banda; al operarse dos sistemas en un determinado ancho de banda, es necesario visualizar desde el inicio el punto máximo de crecimiento de cada sistema.
2. Es necesario realizar proyecciones de acuerdo al desarrollo de cada sistema, para conocer de una forma aproximada cuándo alcanzaremos el punto máximo de crecimiento.
3. La calidad del servicio prestado es muy importante para el operador, por eso debemos evitar saturar el ancho de banda debido al crecimiento; una de las opciones para mantener buena calidad y no dejar de crecer en ambos sistemas, es adquirir una cantidad extra de ancho de banda, de lo contrario uno de los dos sistemas se verá afectado, reduciendo su ancho de banda.

BIBLIOGRAFÍA

1. **CDMA Developpe Group** <www.cdg.org> 2004.
2. **GSM Association global system for mobile communications association** <www.gsmworld.com> 2004.
3. Huidobro Moya, José Manuel. **Comunicaciones móviles**. Paraninfo Thomson Learning 2002.
4. Kyoung Il Kim. **Handbook of CDMA System Design, Engineering, and optimization**. USA: Editorial Prentice-Hall, Inc, 2002.
5. Muñoz Rodríguez, David. **Sistemas inalámbricos de comunicaciones personales**. Marcombo Boixareu Editores 2001.
6. Nortel Networks, Curso 1201 **CDMA Technology and IS-95 Standards**. Canadá: s.e.,2000.
7. Nortel Networks, **Curso de NE2 BSS Optimizacion Parameters V14.2**. Brasil 2005.
8. Nortel Networks, **Curso de OSY1 GSM System and Product Overview**. Brasil 2005.
9. **Superintendencia de Telecomunicaciones de Guatemala**, <www.sit.gob.gt> 2004.
10. Tisal , Joachim. **La Red GSM**. Paraninfo Thomson Learning. 1999.

APÉNDICE A

DISTRIBUCIÓN DE CANALES DE 200 KHz EN LA BANDA DE 1900 MHz.

| | |
|--|--|
| Uplink Frequency = | $F_{ul}(n) = 1850.2 \text{ MHz} + (0.2 \text{ MHz}) * (n - 512)$ |
| Downlink Frequency = | $F_{dl}(n) = F_{ul}(n) + 80 \text{ MHz}$ |
| donde $n = \text{ARFCN}$, 512 ($< \text{or} =$) $n (< \text{or} =) 810$ | |
| ARFCN = Absolute Radio Frequency Channel Number | |

| | PCS 1900 Banda | Número de canal GSM | Uplink Frequency | Downlink Frequency |
|----|----------------|---------------------|------------------|--------------------|
| 1 | Edge CH A | 512 | 1,850.20 | 1,930.20 |
| 2 | A | 513 | 1,850.40 | 1,930.40 |
| 3 | A | 514 | 1,850.60 | 1,930.60 |
| 4 | A | 515 | 1,850.80 | 1,930.80 |
| 5 | A | 516 | 1,851.00 | 1,931.00 |
| 6 | A | 517 | 1,851.20 | 1,931.20 |
| 7 | A | 518 | 1,851.40 | 1,931.40 |
| 8 | A | 519 | 1,851.60 | 1,931.60 |
| 9 | A | 520 | 1,851.80 | 1,931.80 |
| 10 | A | 521 | 1,852.00 | 1,932.00 |
| 11 | A | 522 | 1,852.20 | 1,932.20 |
| 12 | A | 523 | 1,852.40 | 1,932.40 |
| 13 | A | 524 | 1,852.60 | 1,932.60 |
| 14 | A | 525 | 1,852.80 | 1,932.80 |
| 15 | A | 526 | 1,853.00 | 1,933.00 |
| 16 | A | 527 | 1,853.20 | 1,933.20 |
| 17 | A | 528 | 1,853.40 | 1,933.40 |
| 18 | A | 529 | 1,853.60 | 1,933.60 |
| 19 | A | 530 | 1,853.80 | 1,933.80 |
| 20 | A | 531 | 1,854.00 | 1,934.00 |
| 21 | A | 532 | 1,854.20 | 1,934.20 |
| 22 | A | 533 | 1,854.40 | 1,934.40 |
| 23 | A | 534 | 1,854.60 | 1,934.60 |
| 24 | A | 535 | 1,854.80 | 1,934.80 |
| 25 | A | 536 | 1,855.00 | 1,935.00 |
| 26 | A | 537 | 1,855.20 | 1,935.20 |
| 27 | A | 538 | 1,855.40 | 1,935.40 |

| | | | | |
|----|---|-----|----------|----------|
| 28 | A | 539 | 1,855.60 | 1,935.60 |
| 29 | A | 540 | 1,855.80 | 1,935.80 |
| 30 | A | 541 | 1,856.00 | 1,936.00 |
| 31 | A | 542 | 1,856.20 | 1,936.20 |
| 32 | A | 543 | 1,856.40 | 1,936.40 |
| 33 | A | 544 | 1,856.60 | 1,936.60 |
| 34 | A | 545 | 1,856.80 | 1,936.80 |
| 35 | A | 546 | 1,857.00 | 1,937.00 |
| 36 | A | 547 | 1,857.20 | 1,937.20 |
| 37 | A | 548 | 1,857.40 | 1,937.40 |
| 38 | A | 549 | 1,857.60 | 1,937.60 |
| 39 | A | 550 | 1,857.80 | 1,937.80 |
| 40 | A | 551 | 1,858.00 | 1,938.00 |
| 41 | A | 552 | 1,858.20 | 1,938.20 |
| 42 | A | 553 | 1,858.40 | 1,938.40 |
| 43 | A | 554 | 1,858.60 | 1,938.60 |
| 44 | A | 555 | 1,858.80 | 1,938.80 |
| 45 | A | 556 | 1,859.00 | 1,939.00 |
| 46 | A | 557 | 1,859.20 | 1,939.20 |
| 47 | A | 558 | 1,859.40 | 1,939.40 |
| 48 | A | 559 | 1,859.60 | 1,939.60 |
| 49 | A | 560 | 1,859.80 | 1,939.80 |
| 50 | A | 561 | 1,860.00 | 1,940.00 |
| 51 | A | 562 | 1,860.20 | 1,940.20 |
| 52 | A | 563 | 1,860.40 | 1,940.40 |
| 53 | A | 564 | 1,860.60 | 1,940.60 |
| 54 | A | 565 | 1,860.80 | 1,940.80 |
| 55 | A | 566 | 1,861.00 | 1,941.00 |
| 56 | A | 567 | 1,861.20 | 1,941.20 |
| 57 | A | 568 | 1,861.40 | 1,941.40 |
| 58 | A | 569 | 1,861.60 | 1,941.60 |
| 59 | A | 570 | 1,861.80 | 1,941.80 |
| 60 | A | 571 | 1,862.00 | 1,942.00 |
| 61 | A | 572 | 1,862.20 | 1,942.20 |
| 62 | A | 573 | 1,862.40 | 1,942.40 |
| 63 | A | 574 | 1,862.60 | 1,942.60 |
| 64 | A | 575 | 1,862.80 | 1,942.80 |
| 65 | A | 576 | 1,863.00 | 1,943.00 |
| 66 | A | 577 | 1,863.20 | 1,943.20 |
| 67 | A | 578 | 1,863.40 | 1,943.40 |
| 68 | A | 579 | 1,863.60 | 1,943.60 |
| 69 | A | 580 | 1,863.80 | 1,943.80 |
| 70 | A | 581 | 1,864.00 | 1,944.00 |
| 71 | A | 582 | 1,864.20 | 1,944.20 |
| 72 | A | 583 | 1,864.40 | 1,944.40 |

| | | | | |
|-----|-----------|-----|----------|----------|
| 73 | A | 584 | 1,864.60 | 1,944.60 |
| 74 | Edge CH A | 585 | 1,864.80 | 1,944.80 |
| 75 | Guard CH | 586 | 1,865.00 | 1,945.00 |
| 76 | Edge CH D | 587 | 1,865.20 | 1,945.20 |
| 77 | D | 588 | 1,865.40 | 1,945.40 |
| 78 | D | 589 | 1,865.60 | 1,945.60 |
| 79 | D | 590 | 1,865.80 | 1,945.80 |
| 80 | D | 591 | 1,866.00 | 1,946.00 |
| 81 | D | 592 | 1,866.20 | 1,946.20 |
| 82 | D | 593 | 1,866.40 | 1,946.40 |
| 83 | D | 594 | 1,866.60 | 1,946.60 |
| 84 | D | 595 | 1,866.80 | 1,946.80 |
| 85 | D | 596 | 1,867.00 | 1,947.00 |
| 86 | D | 597 | 1,867.20 | 1,947.20 |
| 87 | D | 598 | 1,867.40 | 1,947.40 |
| 88 | D | 599 | 1,867.60 | 1,947.60 |
| 89 | D | 600 | 1,867.80 | 1,947.80 |
| 90 | D | 601 | 1,868.00 | 1,948.00 |
| 91 | D | 602 | 1,868.20 | 1,948.20 |
| 92 | D | 603 | 1,868.40 | 1,948.40 |
| 93 | D | 604 | 1,868.60 | 1,948.60 |
| 94 | D | 605 | 1,868.80 | 1,948.80 |
| 95 | D | 606 | 1,869.00 | 1,949.00 |
| 96 | D | 607 | 1,869.20 | 1,949.20 |
| 97 | D | 608 | 1,869.40 | 1,949.40 |
| 98 | D | 609 | 1,869.60 | 1,949.60 |
| 99 | Edge CH D | 610 | 1,869.80 | 1,949.80 |
| 100 | Guard CH | 611 | 1,870.00 | 1,950.00 |
| 101 | Edge CH B | 612 | 1,870.20 | 1,950.20 |
| 102 | B | 613 | 1,870.40 | 1,950.40 |
| 103 | B | 614 | 1,870.60 | 1,950.60 |
| 104 | B | 615 | 1,870.80 | 1,950.80 |
| 105 | B | 616 | 1,871.00 | 1,951.00 |
| 106 | B | 617 | 1,871.20 | 1,951.20 |
| 107 | B | 618 | 1,871.40 | 1,951.40 |
| 108 | B | 619 | 1,871.60 | 1,951.60 |
| 109 | B | 620 | 1,871.80 | 1,951.80 |
| 110 | B | 621 | 1,872.00 | 1,952.00 |
| 111 | B | 622 | 1,872.20 | 1,952.20 |
| 112 | B | 623 | 1,872.40 | 1,952.40 |
| 113 | B | 624 | 1,872.60 | 1,952.60 |
| 114 | B | 625 | 1,872.80 | 1,952.80 |
| 115 | B | 626 | 1,873.00 | 1,953.00 |
| 116 | B | 627 | 1,873.20 | 1,953.20 |
| 117 | B | 628 | 1,873.40 | 1,953.40 |

| | | | | |
|-----|---|-----|----------|----------|
| 118 | B | 629 | 1,873.60 | 1,953.60 |
| 119 | B | 630 | 1,873.80 | 1,953.80 |
| 120 | B | 631 | 1,874.00 | 1,954.00 |
| 121 | B | 632 | 1,874.20 | 1,954.20 |
| 122 | B | 633 | 1,874.40 | 1,954.40 |
| 123 | B | 634 | 1,874.60 | 1,954.60 |
| 124 | B | 635 | 1,874.80 | 1,954.80 |
| 125 | B | 636 | 1,875.00 | 1,955.00 |
| 126 | B | 637 | 1,875.20 | 1,955.20 |
| 127 | B | 638 | 1,875.40 | 1,955.40 |
| 128 | B | 639 | 1,875.60 | 1,955.60 |
| 129 | B | 640 | 1,875.80 | 1,955.80 |
| 130 | B | 641 | 1,876.00 | 1,956.00 |
| 131 | B | 642 | 1,876.20 | 1,956.20 |
| 132 | B | 643 | 1,876.40 | 1,956.40 |
| 133 | B | 644 | 1,876.60 | 1,956.60 |
| 134 | B | 645 | 1,876.80 | 1,956.80 |
| 135 | B | 646 | 1,877.00 | 1,957.00 |
| 136 | B | 647 | 1,877.20 | 1,957.20 |
| 137 | B | 648 | 1,877.40 | 1,957.40 |
| 138 | B | 649 | 1,877.60 | 1,957.60 |
| 139 | B | 650 | 1,877.80 | 1,957.80 |
| 140 | B | 651 | 1,878.00 | 1,958.00 |
| 141 | B | 652 | 1,878.20 | 1,958.20 |
| 142 | B | 653 | 1,878.40 | 1,958.40 |
| 143 | B | 654 | 1,878.60 | 1,958.60 |
| 144 | B | 655 | 1,878.80 | 1,958.80 |
| 145 | B | 656 | 1,879.00 | 1,959.00 |
| 146 | B | 657 | 1,879.20 | 1,959.20 |
| 147 | B | 658 | 1,879.40 | 1,959.40 |
| 148 | B | 659 | 1,879.60 | 1,959.60 |
| 149 | B | 660 | 1,879.80 | 1,959.80 |
| 150 | B | 661 | 1,880.00 | 1,960.00 |
| 151 | B | 662 | 1,880.20 | 1,960.20 |
| 152 | B | 663 | 1,880.40 | 1,960.40 |
| 153 | B | 664 | 1,880.60 | 1,960.60 |
| 154 | B | 665 | 1,880.80 | 1,960.80 |
| 155 | B | 666 | 1,881.00 | 1,961.00 |
| 156 | B | 667 | 1,881.20 | 1,961.20 |
| 157 | B | 668 | 1,881.40 | 1,961.40 |
| 158 | B | 669 | 1,881.60 | 1,961.60 |
| 159 | B | 670 | 1,881.80 | 1,961.80 |
| 160 | B | 671 | 1,882.00 | 1,962.00 |
| 161 | B | 672 | 1,882.20 | 1,962.20 |
| 162 | B | 673 | 1,882.40 | 1,962.40 |

| | | | | |
|-----|-----------|-----|----------|----------|
| 163 | B | 674 | 1,882.60 | 1,962.60 |
| 164 | B | 675 | 1,882.80 | 1,962.80 |
| 165 | B | 676 | 1,883.00 | 1,963.00 |
| 166 | B | 677 | 1,883.20 | 1,963.20 |
| 167 | B | 678 | 1,883.40 | 1,963.40 |
| 168 | B | 679 | 1,883.60 | 1,963.60 |
| 169 | B | 680 | 1,883.80 | 1,963.80 |
| 170 | B | 681 | 1,884.00 | 1,964.00 |
| 171 | B | 682 | 1,884.20 | 1,964.20 |
| 172 | B | 683 | 1,884.40 | 1,964.40 |
| 173 | B | 684 | 1,884.60 | 1,964.60 |
| 174 | Edge CH B | 685 | 1,884.80 | 1,964.80 |
| 175 | Guard CH | 686 | 1,885.00 | 1,965.00 |
| 176 | Edge CH E | 687 | 1,885.20 | 1,965.20 |
| 177 | E | 688 | 1,885.40 | 1,965.40 |
| 178 | E | 689 | 1,885.60 | 1,965.60 |
| 179 | E | 690 | 1,885.80 | 1,965.80 |
| 180 | E | 691 | 1,886.00 | 1,966.00 |
| 181 | E | 692 | 1,886.20 | 1,966.20 |
| 182 | E | 693 | 1,886.40 | 1,966.40 |
| 183 | E | 694 | 1,886.60 | 1,966.60 |
| 184 | E | 695 | 1,886.80 | 1,966.80 |
| 185 | E | 696 | 1,887.00 | 1,967.00 |
| 186 | E | 697 | 1,887.20 | 1,967.20 |
| 187 | E | 698 | 1,887.40 | 1,967.40 |
| 188 | E | 699 | 1,887.60 | 1,967.60 |
| 189 | E | 700 | 1,887.80 | 1,967.80 |
| 190 | E | 701 | 1,888.00 | 1,968.00 |
| 191 | E | 702 | 1,888.20 | 1,968.20 |
| 192 | E | 703 | 1,888.40 | 1,968.40 |
| 193 | E | 704 | 1,888.60 | 1,968.60 |
| 194 | E | 705 | 1,888.80 | 1,968.80 |
| 195 | E | 706 | 1,889.00 | 1,969.00 |
| 196 | E | 707 | 1,889.20 | 1,969.20 |
| 197 | E | 708 | 1,889.40 | 1,969.40 |
| 198 | E | 709 | 1,889.60 | 1,969.60 |
| 199 | Edge CH E | 710 | 1,889.80 | 1,969.80 |
| 200 | Guard CH | 711 | 1,890.00 | 1,970.00 |
| 201 | Edge CH F | 712 | 1,890.20 | 1,970.20 |
| 202 | F | 713 | 1,890.40 | 1,970.40 |
| 203 | F | 714 | 1,890.60 | 1,970.60 |
| 204 | F | 715 | 1,890.80 | 1,970.80 |
| 205 | F | 716 | 1,891.00 | 1,971.00 |
| 206 | F | 717 | 1,891.20 | 1,971.20 |
| 207 | F | 718 | 1,891.40 | 1,971.40 |

| | | | | |
|-----|-----------|-----|----------|----------|
| 208 | F | 719 | 1,891.60 | 1,971.60 |
| 209 | F | 720 | 1,891.80 | 1,971.80 |
| 210 | F | 721 | 1,892.00 | 1,972.00 |
| 211 | F | 722 | 1,892.20 | 1,972.20 |
| 212 | F | 723 | 1,892.40 | 1,972.40 |
| 213 | F | 724 | 1,892.60 | 1,972.60 |
| 214 | F | 725 | 1,892.80 | 1,972.80 |
| 215 | F | 726 | 1,893.00 | 1,973.00 |
| 216 | F | 727 | 1,893.20 | 1,973.20 |
| 217 | F | 728 | 1,893.40 | 1,973.40 |
| 218 | F | 729 | 1,893.60 | 1,973.60 |
| 219 | F | 730 | 1,893.80 | 1,973.80 |
| 220 | F | 731 | 1,894.00 | 1,974.00 |
| 221 | F | 732 | 1,894.20 | 1,974.20 |
| 222 | F | 733 | 1,894.40 | 1,974.40 |
| 223 | F | 734 | 1,894.60 | 1,974.60 |
| 224 | Edge CH F | 735 | 1,894.80 | 1,974.80 |
| 225 | Guard CH | 736 | 1,895.00 | 1,975.00 |
| 226 | Edge CH C | 737 | 1,895.20 | 1,975.20 |
| 227 | C | 738 | 1,895.40 | 1,975.40 |
| 228 | C | 739 | 1,895.60 | 1,975.60 |
| 229 | C | 740 | 1,895.80 | 1,975.80 |
| 230 | C | 741 | 1,896.00 | 1,976.00 |
| 231 | C | 742 | 1,896.20 | 1,976.20 |
| 232 | C | 743 | 1,896.40 | 1,976.40 |
| 233 | C | 744 | 1,896.60 | 1,976.60 |
| 234 | C | 745 | 1,896.80 | 1,976.80 |
| 235 | C | 746 | 1,897.00 | 1,977.00 |
| 236 | C | 747 | 1,897.20 | 1,977.20 |
| 237 | C | 748 | 1,897.40 | 1,977.40 |
| 238 | C | 749 | 1,897.60 | 1,977.60 |
| 239 | C | 750 | 1,897.80 | 1,977.80 |
| 240 | C | 751 | 1,898.00 | 1,978.00 |
| 241 | C | 752 | 1,898.20 | 1,978.20 |
| 242 | C | 753 | 1,898.40 | 1,978.40 |
| 243 | C | 754 | 1,898.60 | 1,978.60 |
| 244 | C | 755 | 1,898.80 | 1,978.80 |
| 245 | C | 756 | 1,899.00 | 1,979.00 |
| 246 | C | 757 | 1,899.20 | 1,979.20 |
| 247 | C | 758 | 1,899.40 | 1,979.40 |
| 248 | C | 759 | 1,899.60 | 1,979.60 |
| 249 | C | 760 | 1,899.80 | 1,979.80 |
| 250 | C | 761 | 1,900.00 | 1,980.00 |
| 251 | C | 762 | 1,900.20 | 1,980.20 |
| 252 | C | 763 | 1,900.40 | 1,980.40 |

| | | | | |
|-----|---|-----|----------|----------|
| 253 | C | 764 | 1,900.60 | 1,980.60 |
| 254 | C | 765 | 1,900.80 | 1,980.80 |
| 255 | C | 766 | 1,901.00 | 1,981.00 |
| 256 | C | 767 | 1,901.20 | 1,981.20 |
| 257 | C | 768 | 1,901.40 | 1,981.40 |
| 258 | C | 769 | 1,901.60 | 1,981.60 |
| 259 | C | 770 | 1,901.80 | 1,981.80 |
| 260 | C | 771 | 1,902.00 | 1,982.00 |
| 261 | C | 772 | 1,902.20 | 1,982.20 |
| 262 | C | 773 | 1,902.40 | 1,982.40 |
| 263 | C | 774 | 1,902.60 | 1,982.60 |
| 264 | C | 775 | 1,902.80 | 1,982.80 |
| 265 | C | 776 | 1,903.00 | 1,983.00 |
| 266 | C | 777 | 1,903.20 | 1,983.20 |
| 267 | C | 778 | 1,903.40 | 1,983.40 |
| 268 | C | 779 | 1,903.60 | 1,983.60 |
| 269 | C | 780 | 1,903.80 | 1,983.80 |
| 270 | C | 781 | 1,904.00 | 1,984.00 |
| 271 | C | 782 | 1,904.20 | 1,984.20 |
| 272 | C | 783 | 1,904.40 | 1,984.40 |
| 273 | C | 784 | 1,904.60 | 1,984.60 |
| 274 | C | 785 | 1,904.80 | 1,984.80 |
| 275 | C | 786 | 1,905.00 | 1,985.00 |
| 276 | C | 787 | 1,905.20 | 1,985.20 |
| 277 | C | 788 | 1,905.40 | 1,985.40 |
| 278 | C | 789 | 1,905.60 | 1,985.60 |
| 279 | C | 790 | 1,905.80 | 1,985.80 |
| 280 | C | 791 | 1,906.00 | 1,986.00 |
| 281 | C | 792 | 1,906.20 | 1,986.20 |
| 282 | C | 793 | 1,906.40 | 1,986.40 |
| 283 | C | 794 | 1,906.60 | 1,986.60 |
| 284 | C | 795 | 1,906.80 | 1,986.80 |
| 285 | C | 796 | 1,907.00 | 1,987.00 |
| 286 | C | 797 | 1,907.20 | 1,987.20 |
| 287 | C | 798 | 1,907.40 | 1,987.40 |
| 288 | C | 799 | 1,907.60 | 1,987.60 |
| 289 | C | 800 | 1,907.80 | 1,987.80 |
| 290 | C | 801 | 1,908.00 | 1,988.00 |
| 291 | C | 802 | 1,908.20 | 1,988.20 |
| 292 | C | 803 | 1,908.40 | 1,988.40 |
| 293 | C | 804 | 1,908.60 | 1,988.60 |
| 294 | C | 805 | 1,908.80 | 1,988.80 |
| 295 | C | 806 | 1,909.00 | 1,989.00 |
| 296 | C | 807 | 1,909.20 | 1,989.20 |
| 297 | C | 808 | 1,909.40 | 1,989.40 |

| | | | | |
|-----|-----------|-----|----------|----------|
| 298 | C | 809 | 1,909.60 | 1,989.60 |
| 299 | Edge CH C | 810 | 1,909.80 | 1,989.80 |

APÉNDICE B

DISTRIBUCIÓN DE CANALES DE 1.25 MHZ EN LA BANDA DE 1900 MHZ.

| | PCS 1900 Banda | Número de canal CDMA | Uplink Frequency | Downlink Frequency |
|----|----------------|----------------------|------------------|--------------------|
| 1 | A | 25 | 1,851.25 | 1,931.25 |
| 2 | A | 50 | 1,852.50 | 1,932.50 |
| 3 | A | 75 | 1,853.75 | 1,933.75 |
| 4 | A | 100 | 1,855.00 | 1,935.00 |
| 5 | A | 125 | 1,856.25 | 1,936.25 |
| 6 | A | 150 | 1,857.50 | 1,937.50 |
| 7 | A | 175 | 1,858.75 | 1,938.75 |
| 8 | A | 200 | 1,860.00 | 1,940.00 |
| 9 | A | 225 | 1,861.25 | 1,941.25 |
| 10 | A | 250 | 1,862.50 | 1,942.50 |
| 11 | A | 275 | 1,863.75 | 1,943.75 |
| 12 | Guard CH | 300 | 1,865.00 | 1,945.00 |
| 13 | D | 325 | 1,866.25 | 1,946.25 |
| 14 | D | 350 | 1,867.50 | 1,947.50 |
| 15 | D | 375 | 1,868.75 | 1,948.75 |
| 16 | Guard CH | 400 | 1,870.00 | 1,950.00 |
| 17 | B | 425 | 1,871.25 | 1,951.25 |
| 18 | B | 450 | 1,872.50 | 1,952.50 |
| 19 | B | 475 | 1,873.75 | 1,953.75 |
| 20 | B | 500 | 1,875.00 | 1,955.00 |
| 21 | B | 525 | 1,876.25 | 1,956.25 |
| 22 | B | 550 | 1,877.50 | 1,957.50 |
| 23 | B | 575 | 1,878.75 | 1,958.75 |
| 24 | B | 600 | 1,880.00 | 1,960.00 |
| 25 | B | 625 | 1,881.25 | 1,961.25 |
| 26 | B | 650 | 1,882.50 | 1,962.50 |
| 27 | B | 675 | 1,883.75 | 1,963.75 |
| 28 | Guard CH | 700 | 1,885.00 | 1,965.00 |
| 29 | E | 725 | 1,886.25 | 1,966.25 |
| 30 | E | 750 | 1,887.50 | 1,967.50 |
| 31 | E | 775 | 1,888.75 | 1,968.75 |
| 32 | Guard CH | 800 | 1,890.00 | 1,970.00 |
| 33 | F | 825 | 1,891.25 | 1,971.25 |
| 34 | F | 850 | 1,892.50 | 1,972.50 |
| 35 | F | 875 | 1,893.75 | 1,973.75 |
| 36 | Guard CH | 900 | 1,895.00 | 1,975.00 |
| 37 | C | 925 | 1,896.25 | 1,976.25 |

| | | | | |
|----|---|------|----------|----------|
| 38 | C | 950 | 1,897.50 | 1,977.50 |
| 39 | C | 975 | 1,898.75 | 1,978.75 |
| 40 | C | 100 | 1,900.00 | 1,980.00 |
| 41 | C | 1025 | 1,901.25 | 1,981.25 |
| 42 | C | 1050 | 1,902.50 | 1,982.50 |
| 43 | C | 1075 | 1,903.75 | 1,983.75 |
| 44 | C | 1100 | 1,905.00 | 1,985.00 |
| 45 | C | 1125 | 1,906.25 | 1,986.25 |
| 46 | C | 1150 | 1,907.50 | 1,987.50 |
| 47 | C | 1175 | 1,908.75 | 1,988.75 |