



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

**FACTIBILIDAD DEL USO DE REPETIDORES DE BANDA ANCHA
PARA USO SIMULTÁNEO EN GSM Y CDMA EN BANDA 1900 MHZ**

VÍCTOR LÁZARO VEGA PÉREZ
ASESOR: ING. LUIS EDUARDO DURÁN CÓRDOVA

GUATEMALA, JULIO DE 2005

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**FACTIBILIDAD DEL USO DE REPETIDORES DE BANDA ANCHA
PARA USO SIMULTÁNEO EN GSM Y CDMA EN BANDA 1900 MHZ**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

VÍCTOR LÁZARO VEGA PÉREZ

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

GUATEMALA, JULIO DE 2005

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Sydney Alexander Samuels Milson
VOCAL I	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL II	Lic. Amahán Sánchez Alvarez
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. Herbert René Miranda Barrios
EXAMINADOR	Ing. Enrique Edmundo Ruiz Carballo
EXAMINADOR	Ing. Jorge Fernando Álvarez Girón
EXAMINADOR	Ing. José Luis Herrera Gálvez
SECRETARIA	Inga. Gilda Marina Castellanos De Illescas

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:

FACTIBILIDAD DEL USO DE REPETIDORES DE BANDA ANCHA PARA USO SIMULTÁNEO EN GSM Y CDMA EN BANDA 1900 MHZ,

tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica con fecha 27 de junio del 2005.

VÍCTOR LÁZARO VEGA PÉREZ

AGRADEDIMIENTOS

En primer lugar Dios y la Virgen María, quienes han sido mi luz en todos los momentos de mi vida.

Mis padres Víctor Lázaro y Marta Beatriz. Gracias por sus esfuerzos y amor, he podido alcanzar esta meta.

La memoria de mis abuelos José Gutiérrez y Juana Velásquez su cariño permanecerá siempre conmigo.

Mis hermanos Orlando Rudy, William Rene, Mayra Judith, Víctor Hugo, Rosa Edelmira, Marta Elizabeth y Dora del Carmen. Gracias por su apoyo y consejos.

Mis sobrinos en especial Alex y Víctor. A mis primos gracias su apoyo.

Mi novia Vilma Yesenia. Gracias por estar a mi lado en todo momento.

Mis amigos Walter Manuel, José Javier, Nahili Oswaldo y Marvin Oswaldo. Gracias por apoyo.

Mis compañeros de facultad. Gracias su ayuda.

Ingeniero Luis Durán. Gracias por su valiosa asesoría y su colaboración.

INDICE GENERAL

INDICE DE ILUSTACIONES	VII
GLOSARIO	XI
RESUMEN.....	XIII
OBJETIVOS	XV
INTRODUCCIÓN.....	XVII
1. CONCEPTOS DE GSM Y CDMA.....	1
1.1 Introducción al sistema GSM	1
1.1.1 Introducción.....	1
1.1.2 Servicios ofrecidos por la red GSM.....	2
1.1.2.1 Servicios portadores	2
1.1.2.2 Teleservicios.....	2
1.1.2.3 Servicios suplementarios.....	3
1.1.3. Equipamiento de una red GSM	3
1.1.3.1 Estación móvil (MS).....	3
1.1.3.1.1 Equipo móvil	3
1.1.3.1.2 Modulo de identidad de abonado (SIM).....	4
1.1.3.2 Subsistema de radio	4
1.1.3.2.1 Estación base (BTS).....	4
1.1.3.2.2 Controlador de estación base (BSC).....	5
1.1.3.3 Subsistema de red	5
1.1.3.3.1 Centro de conmutación de móviles, MSC.....	5
1.1.3.3.2 Registro de abonados locales (HLR)	6
1.1.3.3.3 Centro de autenticación (AUC).....	6
1.1.3.3.4 Registro de localización de visitantes (VLR).....	6

1.1.3.4	Centro de control y mantenimiento (OMC).....	7
1.1.3.5	Interfaces de red.....	7
1.1.4	Transmisión por radio en GSM.....	8
1.1.4.1	Canales Físicos	9
1.1.4.2	Canales lógicos	10
1.1.4.2.1	Canales de tráfico.....	10
1.1.4.2.2	Canales de Señalización	10
1.1.5	Gestión de recursos de radio.....	11
1.1.5.1	Transferencia Intercelular	11
1.1.5.2	Control de potencia.....	11
1.1.5.3	Ajuste de avance temporal	12
1.1.5.4	Gestión de los canales de radio.....	12
1.1.5.5	Tipología de usuarios	12
1.1.6	Salto de frecuencia (Frequency Hopping)	13
1.2	Introducción al sistema CDMA	15
1.2.1	Introducción.....	15
1.2.2	Clasificación de CDMA	17
1.2.2.1	FH-CDMA (Frequency Hopping CDMA).....	17
1.2.2.2	DS-CDMA (Direct Séquence CDMA)	18
1.2.2.3	TH-CDMA (Time Hopping CDMA)	19
1.2.2.4	Sistemas Híbridos	20
1.2.3	Canales de CDMA	20
1.2.3.1	Códigos Walsh.....	21
1.2.3.2	Distinción entre radio bases	21
1.2.3.3	Distinción entre canales de código inverso.....	22
1.2.3.4	Canales de código hacia delante	23
1.2.3.4.1	Canal Piloto	23
1.2.3.4.2	Canal de sincronismo.....	24
1.2.3.4.3	Canales de radio búsqueda (Paging).....	24

1.2.3.4.4	Canales de tráfico	24
1.2.3.5	Canales Inversos	24
1.2.3.5.1	Canales de tráfico	25
1.2.3.5.2	Canales de Acceso	25
1.2.4	Control dinámico de potencia.....	26
1.2.4.1	Control de potencia lazo abierto Inverso.....	26
1.2.4.2	Control de potencia de lazo cerrado	27
1.2.4.3	Control de potencia en lazo externo inverso	27
1.2.4.4	Control de potencia en el enlace directo	27
1.2.5	Transferencia de llamadas o Handoff	28
1.2.5.1	Etapas de Handoff en CDMA	29
1.2.5.2	Tipos de Handoffs.....	30
1.2.5.2.1	Handoff libre	30
1.2.5.2.2	Handoff Suave.....	30
1.2.5.2.3	Handoff más suave.....	31
1.2.5.2.4	Handoff suaves entre sistemas	31
1.2.5.2.5	Handoff fuerte de CDMA a CDMA	31
1.2.5.2.6	Handoff CDMA a analógico	32
1.2.6	Principales subsistemas del sistemas CDMA	32
1.2.6.1	Sistema multiplex digital – Central de telefonía movil (DMS-MTX)	33
1.2.6.2	Gestor de estación base (BSM).....	33
1.2.6.3	Controlador de estacion base (BSC).....	34
1.2.6.4	Subsistema de estación base transeptora (BTS).....	34
2.	REPETIDORES DE RADIOFRECUENCIA	35
2.1	Repetidor	35
2.1.1	Elementos básicos para el funcionamiento de un repetidor.....	36
2.2	Tipos de repetidores.....	37

2.2.1	Repetidores de toma por aire.....	37
2.2.1.1	Características de enlace donador.....	38
2.2.1.2	Aislamiento y separación de antenas.....	40
2.2.1.2.1	Aislamiento	40
2.2.1.2.2	Separación horizontal de antenas.....	41
2.2.1.2.3	Separación vertical de antenas	43
2.2.1.2.4	Medición del Aislamiento	44
2.2.1.2.5	Escudos.....	46
2.2.1.3	Margen de inyección de ruido (NIM)	47
2.2.1.4	Ajuste de ganancia.....	48
2.2.1.5	Métodos para el ajuste de ganancia.....	49
2.2.1.5.1	Método indirecto para el ajuste de ganancia.....	49
2.2.1.5.2	Método indirecto para el ajuste de ganancia para un repetidor CDMA.....	50
2.2.1.5.3	Método indirecto para el ajuste de ganancia para un repetidor GSM	51
2.2.1.5.4	Método directo para el ajuste de ganancia	53
2.2.2	Repetidores de fibra óptica.....	54
2.3	Optimización de repetidores	56
2.3.1	Ventanas de búsqueda y Parámetros.....	56
2.3.1.1	Ventana de búsqueda del canal de acceso.....	57
2.3.1.2	Ventana de búsqueda del canal de trafico.....	58
2.3.1.3	Ventana de búsqueda del Subscriptor	58
2.3.1.4	Protección de Interferencia de PN offset	60
3.	MEDICIONES Y ANALISIS DE RESULTADOS	61
3.1	Introducción	61
3.2	Configuraciones de sitios celda y el sitio repetidor.....	61
3.3	Medición y análisis de cobertura CDMA del repetidor operando en CDMA	63

3.4	Medición y análisis de cobertura CDMA del repetidor operando en CDMA y GSM simultáneamente.	64
3.5	Medición y análisis de cobertura GSM del repetidor operando en CDMA y GSM simultáneamente.	66
3.6	Análisis del desempeño del sector donador CDMA.....	67
3.7	Análisis del desempeño del sector donador GSM	71
4.	ANALISIS ECONOMICO-FINANCIERO	75
4.1	Configuración de dos repetidores CDMA y GSM.....	75
4.2	Configuración de un repetidor CDMA y GSM.....	78
4.3	Configuración de dos BTS's CDMA y GSM	80
4.4	Retorno de inversión para un repetidor de banda ancha.....	83
4.4.1	Retorno de inversión del repetidor de banda ancha operando en CDMA.....	83
4.4.2	Retorno de inversión del repetidor de banda ancha operando en GSM	86
4.4.3.	Retorno de inversión del repetidor de banda ancha operando en CDMA y GSM.	88
	CONCLUSIONES.....	91
	RECOMENDACIONES	93
	BIBLIOGRAFÍA	95

INDICE DE ILUSTACIONES

FIGURAS

1	Estructura de una red GSM	8
2	Esquema de acceso para el estándar GSM	9
3	Desvanecimiento (fading).....	13
4	Técnica CDMA (Acceso múltiple por división de código).....	15
5	Principios de espectro expandido.....	16
6	Uso del espectro en FH-CDMA.....	17
7	Uso del espectro en DS-CDMA.....	18
8	Sistema DS-CDMA básico.....	18
9	Uso del espectro en TH-CDMA.....	19
10	Canal CDMA.....	20
11	Canales de código hacia delante	23
12	Canales Inversos.....	25
13	Handoff	29
14	Subsistemas del sistema CDMA.....	32
15	Esquema básico del funcionamiento de un repetidor	36
16	Repetidor de toma por aire	37
17	Configuración típica de un repetidor para cálculos de RTD.....	39
18	Configuración de separación horizontal de antenas.....	42
19	Patrones de radiación para una configuración horizontal.....	42
20	Configuración de separación vertical de antenas	43
21	Patrones de radiación de una separación vertical de antenas	44
22	Medición de aislamiento.....	46
23	Ubicación del escudo	47

24	Método indirecto para ajuste de ganancia.....	52
25	Método directo de ajuste de ganancia.....	54
26	Repetidor de fibra óptica	55
27	Configuración de sitios donadores y sitio repetidor	62
28	Potencia de recepción CDMA de la estación móvil (RX) cuando el repetidor opera solamente en CDMA	64
29	Potencia de recepción CDMA de la estación móvil cuando el repetidor opera en CDMA y GSM simultáneamente.....	65
30	Potencia de recepción GSM de la estación móvil cuando el repetidor opera en CDMA y GSM simultáneamente.....	66
31	Intentos de llamada del sector donador CDMA.....	68
32	Porcentaje de completación del sector donador CDMA	69
33	Porcentaje de caídas de llamada del sector donador CDMA	70
34	Porcentaje de fallas de acceso del sector donador CDMA.....	71
35	Intentos de llamada del sector donador GSM.....	72
36	Porcentaje de completación del sector donador GSM.....	73
37	Porcentaje de caídas de llamada sector donador GSM.....	73
38	Porcentaje de fallas de acceso del sector donador GSM	74
39	Uso de dos repetidores para proporcionar cobertura CDMA y GSM	76
40	Uso de un repetidor de banda ancha para proporcionar cobertura CDMA y GSM simultáneamente.	78
41	Uso de dos BTS's para proporcionar cobertura CDMA y GSM simultáneamente	80
42	Llamadas con éxito sector donador GSM	85
43	Llamadas con éxito sector donador GSM	88

TABLAS

I	Asignación del espectro para GSM	8
II	Configuraciones de sitios de celda CDMA y GSM	61
III	Configuración del sitio repetidor.	62
IV	Costo de utilizar dos repetidores para proporcionar cobertura CDMA/GSM. ...	77
V	Costo de utilizar un repetidor de banda ancha para proporcionar cobertura CDMA/GSM.	79
VI	Costo de utilizar dos BTS's para proporcionar cobertura CDMA/GSM.	81
VII	Comparación de costos al utilizar dos repetidores, un repetidor de banda ancha y dos BTS's para proporcionar cobertura CDMA/GSM.	82

GLOSARIO

Antena parabólica	Antena que posee un elemento reflector parabólico que se encarga de concentrar la energía en el punto focal.
Banda	Margen de frecuencias comprendidas entre dos límites definidos.
Banda ancha	Denominación que se aplica a un canal de comunicaciones cuyo margen de frecuencias es superior al habitual.
Canal	Ruta de transmisión de comunicaciones, a través de cualquier clase de medio de transmisión: cable conductor, radio, fibra óptica o de cualquier otro tipo.
Directividad	Es una característica de una antena que nos muestra la relación entre la potencia que ésta emite en una dirección determinada respecto la potencia total que consume.
Drive test	Consiste en realizar medidas de calidad de la interfaz radio para redes de telefonía móvil celular. Con ello, se pueden obtener mapas de calidad del servicio
Llamada	Proceso consistente en emitir señales de dirección y control necesarias para poder establecer un enlace entre dos o más estaciones.

Efecto co-canal	Interferencia entre las señales de las celdas que comparten el mismo conjunto de frecuencias.
Enlace por hilos MIC	Enlace que se realiza a través de Modulación de Impulsos Codificados.
Roaming	Es una característica de los sistemas de telefonía celular y especialmente del sistema GSM, permite a sus teléfonos móviles desplazarse entre redes de diferentes países o del mismo país, sin perder la comunicación
Tráfico	Es la cantidad de información, voz, datos, imágenes, transportada por una vía de comunicación.
Usuario	Entidad que utiliza un proceso o servicio de forma directa o indirecta. Puede tratarse de una persona, una máquina u otro proceso.

RESUMEN

Se tiene un sitio repetidor de banda ancha operando en CDMA, el cual proporciona cobertura a un determinado lugar, por medio de análisis de drive test y de estadísticas de llamadas del sector donador se determina el buen funcionamiento del repetidor. Se activa un sitio de celda GSM en el mismo lugar y con la misma cobertura que el sitio donador CDMA, entonces el repetidor empieza a funcionar en CDMA y GSM simultáneamente. Por medio de análisis de drive test y de estadísticas de llamadas, tanto en CDMA como en GSM se determina que el repetidor tiene un buen funcionamiento y cumple con los requerimientos de cobertura en ambas tecnologías. Seguidamente, por medio de un análisis económico, el cual toma en cuenta los precios de equipo y de instalación, se determina que utilizar un repetidor de banda ancha para proporcionar cobertura CDMA y GSM a un determinado lugar es mucho mas barato que utilizar dos repetidores de banda angosta uno para CDMA y otro para GSM o utilizar dos BTS's una CDMA y una GSM.

OBJETIVOS

Ø GENERAL

Mostrar que se puede dar cobertura de CDMA y GSM simultáneamente por medio de un repetidor de banda ancha y con ello disminuir los costos de operación.

Ø ESPECIFICOS

1. Definir los conceptos básicos en los se basan las tecnologías CDMA y GSM.
2. Mostrar los principios básicos en los que basa el funcionamiento de un repetidor de radiofrecuencia.
3. Definir los pasos para la configuración de un repetidor de radiofrecuencia.
4. Mostrar la cobertura de un repetidor de banda ancha cuando opera en CDMA y GSM.
5. Mostrar el desempeño de los sectores donadores cuando un repetidor de banda ancha opera en CDMA y GSM.
6. Mostrar en que medida se logra una disminución de costos utilizando un repetidor de banda ancha para dar cobertura GSM y CDMA simultáneamente.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad las comunicaciones móviles constituyen un factor importante para el desarrollo económico y social de cualquier país. Los operadores en cada país tratan de aumentar la oferta a un mayor número de usuarios, usando como base ofrecer mayor cobertura y más servicios con el menor costo posible.

CDMA, Acceso múltiple por división de código, y GSM, Sistema Global Móvil, son las dos tecnologías de comunicaciones móviles con mayor éxito en el ámbito mundial. Por lo que ciertos operadores con el afán de aumentar la cantidad de servicios y por ende atraer a un mayor número de usuarios han optado por desarrollar ambas tecnologías en sus sitios de celda.

Los repetidores de radiofrecuencia son una opción para dar cobertura en lugares en donde los recursos de un sitio de celda no serían, totalmente, utilizados como, por ejemplo, carreteras o poblados cuya densidad poblacional es media o baja. Por lo que ciertos operadores han optado por incorporarlos en sus redes de telefonía móvil y con ello mejorar la rentabilidad de sus operaciones.

El presente trabajo de graduación se basa en determinar si es factible el uso de repetidores de banda ancha para que funcionen para ambas redes CDMA y GSM, es decir, utilizar un solo repetidor para ambas tecnologías. Y está compuesto de la siguiente forma:

En el primer capítulo, se muestran los fundamentos básicos en los que se basan las tecnologías CDMA y GSM.

En el segundo capítulo se muestra el principio de funcionamiento de un repetidor de radiofrecuencia, los tipos de repetidores, técnicas para configurar repetidores y parámetros de optimización.

En el tercer capítulo se muestra las mediciones y análisis de cobertura cuando un repetidor de banda ancha funciona en una red (CDMA) y cuando funciona en dos redes (CDMA y GSM). Además, se realiza mediciones de tráfico y análisis de desempeño de los sectores donadores CDMA y GSM.

En el cuarto capítulo se muestra el análisis económico-financiero de tres posibles opciones para proporcionar cobertura CDMA y GSM a un determinado lugar. Estas opciones son: la de utilizar dos repetidores de banda angosta uno para CDMA y otro para GSM, el uso un repetidor de banda ancha operando en CDMA/GSM y utilizar dos BTS's una de CDMA y otra de GSM.

1. CONCEPTOS DE GSM Y CDMA

1.1. Introducción al sistema GSM (Sistema global para comunicaciones móviles)

1.1.1. Introducción

Un importante organismo de telecomunicaciones Europeo dio gran impulso a un nuevo sistema celular digital, este fue la Conferencia Europea de Postales y Telecomunicaciones (CEPT), la cual creó lo que se conoció como “Grupo Especial Móvil” (GSM). Este grupo comenzó a trabajar en el año 1985 en un estándar europeo para la comunicación celular digital, el cual se implementaría en 1991. El sistema fue desarrollado para poder superar las limitantes de capacidad que ofrecían los sistemas análogos y como una de sus principales características debía soportar “*roaming*” internacional así como proveer un estímulo importante a la industria de las telecomunicaciones en Europa. El desarrollo de un sistema común para toda Europa permitiría al suscriptor usar su respectiva unidad móvil por toda Europa, y desde el punto de vista del usuario parecería como un solo sistema, aunque en realidad, consistiría de varios sistemas manejados por operadores independientes.

En 1992 se produce el lanzamiento comercial oficial del estándar GSM, disfrutando de una gran aceptación en la Unión Europea de Naciones teniendo para finales de 1993 un millón de suscriptores en la red GSM, pero el crecimiento de este sistema cruzó más allá de las fronteras llegando a países de Asia, África, Oceanía y América.

1.1.2. Servicios ofrecidos por la red GSM.

La red GSM ofrece a sus abonados tres clases de servicios:

- Servicios portadores
- Teleservicios
- Servicios suplementarios.

1.1.2.1. Servicios portadores

El sistema GSM ofrece a sus abonados servicios portadores, los cuales permiten la transferencia de datos de un extremo a otro de la red, sin modificarla de extremo a extremo en modo circuito dentro de la red GSM; este modo de transmisión garantiza un orden cronológico de la información intercambiada. Los servicios proporcionados por GSM tienen aplicaciones muy diversas como por ejemplo, la transmisión de voz, acceso a una red X.25, transferencia de datos multimedia, correo electrónico, etc.

1.1.2.2. Teleservicios

Los teleservicios son aplicaciones operativas ofrecidas por la red a sus abonados. Estas utilizan las posibilidades que ofrecen los servicios portadores. Permiten la transmisión de información de usuario a usuario, enmascarada dentro de una aplicación. La telefonía es el teleservicio más importante. Permite los tipos de comunicación siguientes:

- Comunicación entre dos móviles
- Comunicación entre un aparato móvil y otro fijo a través de cualquier número de redes.

Otros teleservicios ofrecidos por GSM son: Llamadas de urgencia, mensajería punto a punto, transmisión de mensajes cortos alfanuméricos (máximo 140 octetos) y Fax de grupo 4.

1.1.2.3. Servicios suplementarios

Los servicios suplementarios mejoran los anteriores servicios. Son bastante numerosos y entre ellos tenemos: Identificación del abonado que llama, redireccionamiento de llamadas, indicación de llamada en espera, almacenamiento de llamadas, información de tarificación, restricción de llamadas, mensajería vocal, doble marcación, conferencia, reenvío de llamada en curso.

1.1.3. Equipamiento de una red GSM

1.1.3.1. Estación móvil (MS)

Un usuario que está inscrito dentro de una red GSM emplea una estación móvil para hacer y recibir llamadas dentro de la red. Una estación móvil se compone de dos partes físicas: el equipo móvil, y el modo de identidad de abonado (SIM)

1.1.3.1.1. Equipo móvil

El equipo móvil es el conjunto formado por el equipo radioeléctrico, el teclado, la pantalla, el micrófono y el altavoz que proporciona el abonado los medios de acceso a la red, este también incluye el software que maneja a estos componentes.

1.1.3.1.2. Modulo de identidad de abonado (SIM)

Es la parte personalizada de la estación móvil. Físicamente es una tarjeta llamada “inteligente” porque cuenta con un microprocesador. La SIM cumple diversas funciones, siendo las importantes la autenticación del usuario, la seguridad de las transmisiones de radio y almacenamiento de datos del abonado.

1.1.3.2. Subsistema de radio

Es el conjunto constituido por la red de estaciones base (BTS) y el controlador de radio bases (BSC).

1.1.3.2.1. Estación base (BTS)

Una estación base es esencialmente un conjunto emisor / receptor, proporciona el punto de entrada a la red a los abonados que están dentro de la cobertura de su célula.

Sus principales funciones son:

- Transmisión radioeléctrica según el estándar GSM
- La generación de algoritmos de ecualización para compensar las múltiples trayectorias
- La codificación y decodificación de los canales de radio
- El cifrado (o la criptografía) de las comunicaciones
- Medida de calidad y potencia de recepción en los canales de tráfico
- Transmisión sobre el canal de señalización

1.1.3.2. Controlador de estación base (BSC)

Se encarga de gestionar una o varias estaciones base. Sus funciones básicas son:

- Para el tráfico que proviene del abonado se comporta como un concentrador
- Para el tráfico proveniente del conmutador se comporta como un enrutador
- Hace la función de repetidor de alarmas y estadísticas provenientes de la estación base al centro de control y mantenimiento
- Coordina las transferencias entre células cuando una estación móvil atraviesa la frontera entre dos células o lo que se conoce como handover
- Asigna las frecuencias de radio que puede utilizar cada una de sus estaciones base

1.1.3.3. Subsistema de red

Un subsistema de red es el nexo entre la parte de radio GSM y la red de Telefónica conmutada pública (RTCP).

1.1.3.3.1. Centro de conmutación de móviles, MSC

Es el elemento más importante del subsistema, se encarga de asumir funciones de conmutación para conectar a los abonados móviles entre sí, a otras redes móviles y con abonados de red fija. Además se encarga de interconectar la red de radiotelefonía con la telefónica pública, tomando en cuenta eventualidades introducidas por la movilidad y la gestión de abonados visitantes. Proporciona acceso hacia el centro de autenticación que verifica los derechos de los abonados, participa en la gestión de movilidad de abonados y por lo tanto su localización en la red y también en el suministro de todos los teleservicios.

1.1.3.3.2. Registro de abonados locales (HLR)

El registro de abonados locales es una base de datos que contiene información de los abonados de la red. Un registro en esta base de datos describe con detalle las opciones contratadas y los servicios suplementarios a los que tiene acceso el abonado, además de esta información estática se tiene información dinámica como es el caso de la última localización del abonado y el estado de su terminal (en servicio, en comunicación, en reposo, fuera de servicio, etc.). Toda la información contenida en el HLR se encuentra protegida, en donde los datos están cifrados (o bien encriptados) y únicamente un operador autorizado puede manipularlos, a través de autenticación.

1.1.3.3.3. Centro de autenticación (AUC)

La misión del centro de autenticación es controlar la identidad de los usuarios en la red y de las estaciones móviles, es decir proteger la red contra posibles intrusos. En el AUC se encuentra copia de los algoritmos grabado en la SIM y que son utilizados para determinar la identidad del abonado. Generalmente el AUC se encuentra localizado en una dependencia cuya entrada es restringida.

1.1.3.3.4. Registro de localización de visitantes (VLR)

El registro de localización de visitantes (roamers) es una base de datos asociada a un conmutador MSC, su misión es almacenar información dinámica relativa a los abonados de paso o visitantes en la red. Esta gestión es muy importante, ya que en cada instante la red debe conocer la localización de todos los abonados presentes en ella.

1.1.3.4. Centro de control y mantenimiento (OMC)

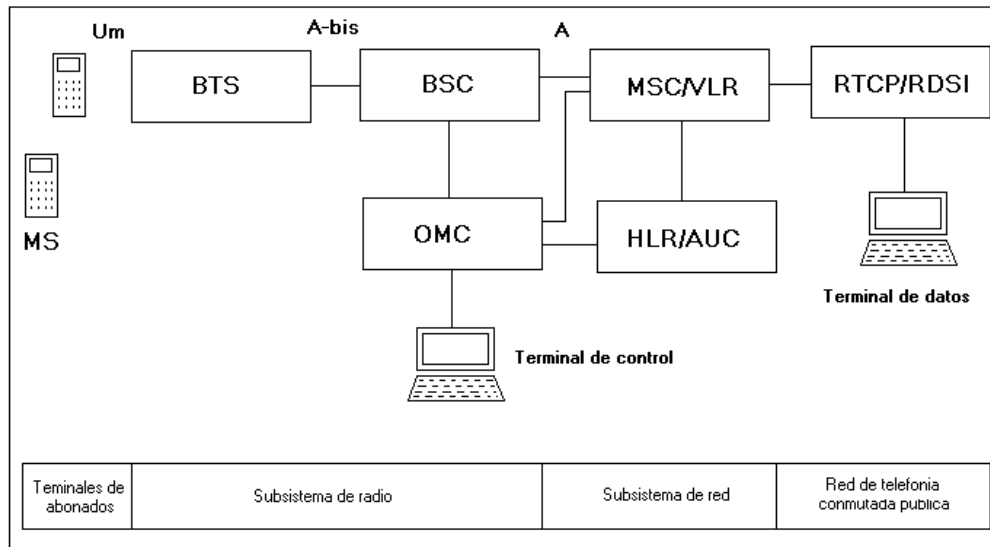
Es la entidad encargada de la gestión y explotación de la red. La entidad es encargada de la gestión administrativa de los abonados y la gestión técnica de los equipos. La gestión administrativa y comercial de la red se ocupa de los abonados en términos de modificaciones, bajas y facturación. La gestión técnica se encarga garantizar la disponibilidad y la correcta configuración del equipo.

1.1.3.5. Interfaces de red

Las interfaces son componentes importantes de la red. Soportan el dialogo entre equipos y permiten que funcionen entre si. La normalización de las interfaces garantiza el correcto funcionamiento entre equipos producidos por distintos fabricantes. Se ha normalizado las siguiente interfaces:

- La interfaz de radio **Um** esta localizada entre la estación móvil y la estación base (MS \leftrightarrow BTS), esta es la interfaz más importante de la red.
- Interfaz **A-bis** conecta una estación base con su controlador (BTS \leftrightarrow BSC), el soporte es un enlace por hilos MIC.
- Interfaz **A** se sitúa entre un controlador y un conmutador (BSC \leftrightarrow MSC), se realiza mediante un enlace MIC a 64 kbit/s.
- Interfaz **X.25** conecta un controlador con el centro de control (BSC \leftrightarrow OMC), el soporte es suministrado por una red de transmisión de datos.
- Interfaz entre el conmutador y la red publica viene definida por el protocolo de señalización n.º7 del CCIT.

Figura 1. Estructura de una red GSM



1.1.4. Transmisión por radio en GSM

En distintas partes del mundo por cuestiones de disponibilidad del espectro se tienen diferentes asignaciones para el sistema GSM como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla I. Asignación del espectro para GSM

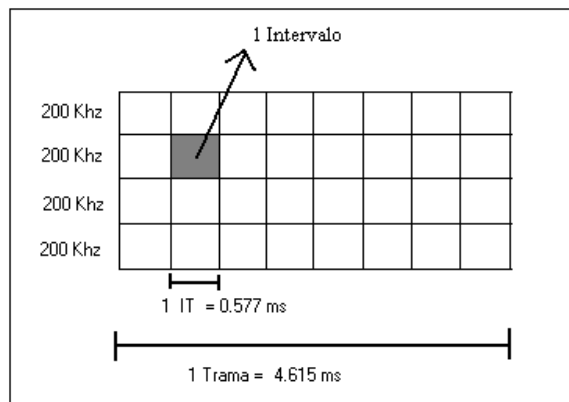
Banda de Frecuencias GSM	Frecuencias disponibles	Disponibilidad
400 Mhz	450.4 – 457.6 MHz / 460.4 - 467.6 MHz 478.8 – 486.0 MHz / 488.8 - 496.0 MHz	Europa
800 Mhz	824 – 849 MHz / 869 – 894 MHz	América
900 Mhz	890 – 915 MHz / 935 – 960 MHz	Europa, Asia, África
1800 Mhz	1710 - 1785 MHz / 1805 - 1880 MHz	Europa, Asia, África
1900 Mhz	1850 - 1910 MHz / 1930 - 1990 MHz	América

1.1.4.1. Canales Físicos

El sistema GSM utiliza una combinación de multiplexado por división de tiempo (TDMA) y el multiplexado por división de frecuencias (FDMA). El multiplexado por división frecuencia divide la banda de 800 MHz en 125 canales de un ancho 200 KHz cada uno, tanto en el enlace para delante (Forward) como en el enlace para atrás (Reverse) y esto da origen 125 canales duplex, de esos 125 canales se utiliza uno de guarda para evitar interferencia con otras bandas. La banda de 1800 MHz se divide en 375 canales duplex de un ancho de 200 KHz cada uno de canales se utiliza para guarda para evitar interferencias. La banda de 1900 se divide en 300 canales duplex de un ancho de banda 200 KHz cada uno, utilizando uno estos como canal de guarda para evitar interferencia.

El multiplexado por división de tiempo divide el canal en 8 comunicaciones diferentes, cada comunicación tiene un intervalo de tiempo (IT) de 577 μ s, la suma de los ocho intervalos de tiempo constituye lo que se llama una trama, que es la unidad básica de tiempo. La trama en GSM dura 4.615 ms como se muestra en la figura siguiente. Entonces podemos decir que en GSM se puede transmitir varias conversaciones en misma frecuencia pero en diferentes intervalos de tiempo.

Figura 2. Esquema de acceso para el estándar GSM



1.1.4.2. Canales lógicos

Los canales lógicos pueden transportar datos de una comunicación entre la estación base y la estación móvil, así como información de señalización dirigida a la estación móvil o la estación base. Se han definido dos tipos de canales lógicos:

- Tráfico
- Señalización

1.1.4.2.1. Canales de tráfico

Los canales de tráfico también son llamados Traffic Channel (TCH), estos utilizados para transportar voz o datos, y se dividen en dos familias: Los canales a velocidad total que tienen una velocidad de transmisión de voz 13 kbit/s y los canales a velocidad mitad que ofrecen una velocidad vocal codificada de 6.5 kbit/s.

1.1.4.2.2. Canales de Señalización

Entre las funciones más importantes de los canales de señalización se encuentran:

- Un canal de señalización permite monitorear el enlace de radio entre la terminal y la estación base, controlando parámetros como potencia de emisión y medida de la calidad, etc.
- Antes del establecimiento de una conexión de tráfico un canal de señalización es encargado de transportar la información para que el abonado y la terminal sean autenticados.
- Periódicamente la estación base envía por el canal de sincronización SDCH los paquetes de sincronización para que las terminales sincronicen su reloj.

- La estación base transmite sobre el canal BCCH (Broadcast Control Channel) información general hacia las estaciones móviles para que estas puedan localizarse en la red, esta información proporciona el nombre de la estación base, nombre de la célula y la zona de localización.
- La estación base emite por el canal PCH (Paging Channel) las llamadas hacia las terminales móviles

1.1.5. Gestión de recursos de radio

1.1.5.1. Transferencia Intercelular

Antes de efectuarse una interferencia intercelular, el controlador de estación base (BSC) realiza mediciones relativas al tráfico de las células, a la calidad de enlaces, a la potencia de la señal de recepción y al avance temporal. Seguidamente decide entre la transferencia celular del móvil o la transferencia intercelular, es decir la selección de otro canal lógico para el móvil. Esta función es crítica en GSM.

El controlador de estación base conoce los parámetros de transferencia intercelular; estas reglas no están definidas en las recomendaciones para GSM, cada fabricante propone sus criterios al operador.

1.1.5.2. Control de potencia

La potencia de emisión de la estación móvil y de la estación base se regulan constantemente a razón de 60 ms, esto para poder limitar las interferencias y el ruido interno en el sistema, mejorar el rendimiento espectral y también aumentar el tiempo duración de las baterías internas de la estación móvil.

1.1.5.3. Ajuste de avance temporal

Las estaciones móviles en una célula se encuentran a distancias diferentes de la estación base lo que da como resultado que los tiempos de emisión de las estaciones móviles difieran entre cada una ellas. Esto impone la necesidad de un tiempo de guarda entre el final de la emisión de un móvil y el inicio de la emisión siguiente móvil. Para reducir el periodo de guarda la estación base lo mide constantemente y la estación de control de la estación base (BSC) lo ajusta en consecuencia para cada una de las estaciones móviles.

1.1.5.4. Gestión de los canales de radio

El controlador de la estación base (BSC) genera los canales de radio, en función de la configuración de los canales físicos y lógicos elegidos por el operador en la planificación de su red.

Una de las características de GSM es que proporciona al operador una gran libertad al operador para definir su estrategia de asignación de canales lógicos.

1.1.5.5. Tipología de usuarios

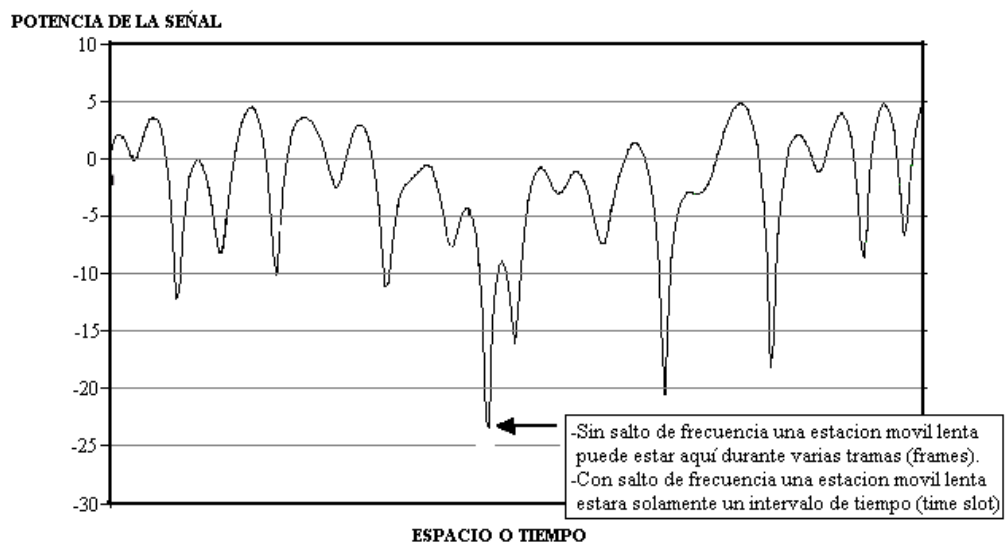
Cuando existe una gran demanda y el numero de peticiones de acceso de los usuarios supera al numero de canales disponibles, la estación base (BTS) selecciona y satisface a los usuarios en función de su tipo. El tipo de usuario lo define el operador y lo almacena en la tarjeta SIM del abonado.

1.1.6. Salto de frecuencia (Frequency Hopping)

El Salto de frecuencia (frequency hopping) es una técnica de modulación que puede ser implementada sobre cualquier red. La característica de salto de frecuencia (frequency hopping) es especificada en las recomendaciones GSM. Sin embargo, la forma con que es implementada puede variar de un proveedor de equipo a otro, consecuentemente los resultados finales pueden ser muy diferentes. Existen diferentes técnicas de salto de frecuencia, en GSM solamente la técnica de salto de frecuencia lento (slow frequency hopping) es considerada.

La propagación de las señales de radiofrecuencia lleva asociado el fenómeno multitrayectoria, en el cual la señal que llega al terminal móvil es la suma de la señal que recibe directamente de la estación base y señales que han sido reflejadas por el suelo o diferentes obstáculos que se encuentran en las cercanías del terminal móvil. Este fenómeno hace que en ambientes de movilidad, la señal sufra variaciones de intensidad o desvanecimientos (fading) que degradan la calidad de la señal recibida como se muestra en la siguiente figura.

Figura 3. Desvanecimiento (fading)



Los desvanecimientos que se producen están relacionados con la frecuencia del enlace y con la velocidad del movimiento del terminal móvil. Además la propagación puede ser diferente para cada uno de los canales.

Para evitar las grandes diferencias en la calidad que conlleva el uso de unos canales con respecto a otros, debido a los fenómenos de propagación, se introduce la técnica del salto de frecuencias lento (slow frequency hopping), que consiste en cambiar la frecuencia de portadora para cada una de las tramas TDMA. De esta forma se evita que un usuario tenga durante la misma llamada, su trama permanentemente en la misma portadora, la cual ese momento puede estar afectada por algún fenómeno de propagación que degrade la calidad de las comunicaciones (por ejemplo un desvanecimiento fuerte). Cambiando la portadora de RF regularmente permite promediar los efectos de desvanecimiento fuerte.

Por otra parte la utilización de las técnicas de salto de frecuencia reduce el fenómeno de interferencia co-canal.

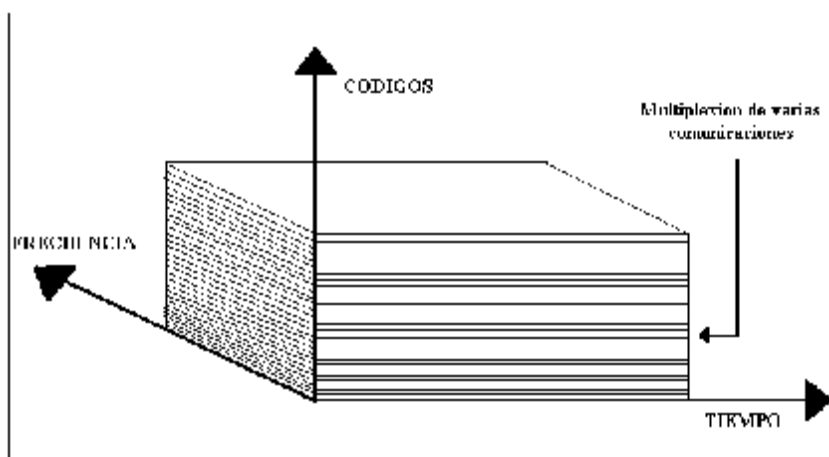
En GSM existen diversos algoritmos de realización del salto de frecuencias, el algoritmo usado en cada instante es enviado al terminal desde la estación base, por medio del canal de control de difusión (BCCH). El uso de la técnica de salto de frecuencia no es obligatorio en las estaciones base, pero si una estación base decide utilizarla, el terminal está obligado a aceptarlo. Es decir los terminales deben estar dotados de la posibilidad de funcionar con salto de frecuencias.

1.2. Introducción al sistema CDMA (Acceso múltiple por división de código)

1.2.1. Introducción

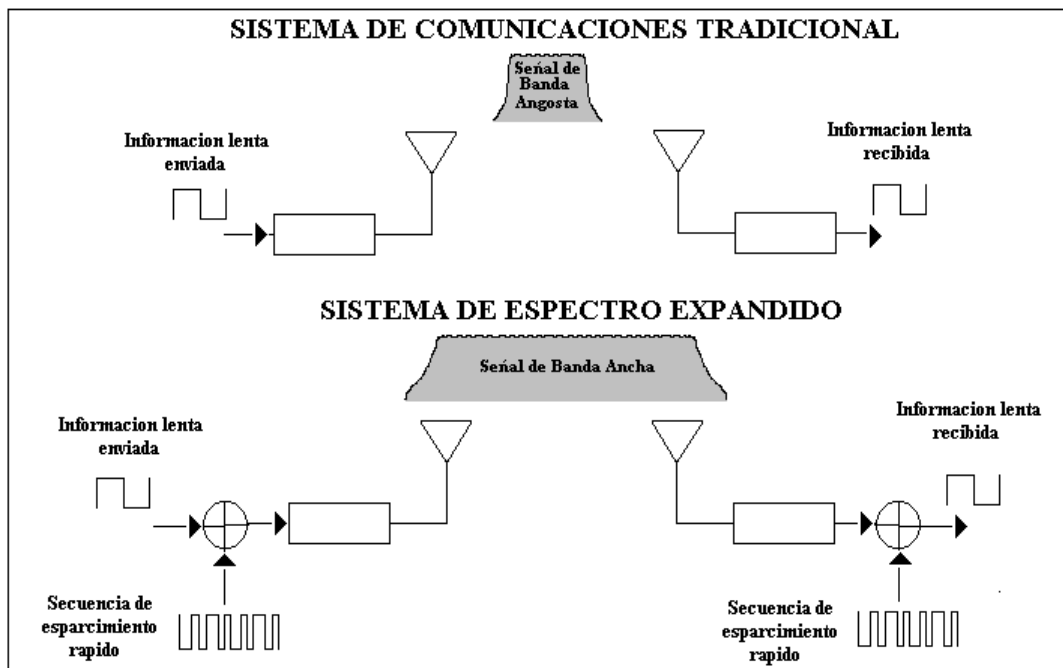
En CDMA (acceso múltiple por división de código) todos los usuarios pueden utilizar el mismo canal de banda ancha al mismo tiempo para transmitir información, esto quiere decir que no existe división de tiempo o frecuencia como se muestra en la siguiente figura. La diferenciación de las señales se logra mediante diferentes códigos, se le asigna un código diferente a cada usuario, estos códigos tienen las propiedades de autocorrelación y ortogonalidad. Para poder identificar la señal procedente de cada usuario se realiza una correlación de su código, como estos códigos son ortogonales después de la correlación solo quedara la señal deseada. En la practica debido al multitrayecto, los códigos no son totalmente ortogonales en la recepción es por ello la necesidad de un buen control de potencia para que la recepción de todos lo usuarios sea similar.

Figura 4. Técnica CDMA (Acceso múltiple por división de código)



En CDMA se tiene la necesidad que la señal portadora de la información se haya expandido en frecuencia para lograr la distinción entre las demás. El transmisor utiliza el código asignado y por medio de un codificador expande la señal y la transmite al medio, el receptor conociendo el código y por medio de un decodificador puede recuperar señal y regresarla a su forma original. El ancho de banda de la señal codificada debe ser mucho mayor que el ancho de banda de la señal que porta la información. El proceso anterior es llamado espectro expandido (spread spectrum). En la siguiente figura se muestra la diferencia entre un sistema de comunicaciones tradicional y un sistema de espectro expandido.

Figura 5. Principios de espectro expandido



1.2.2. Clasificación de CDMA

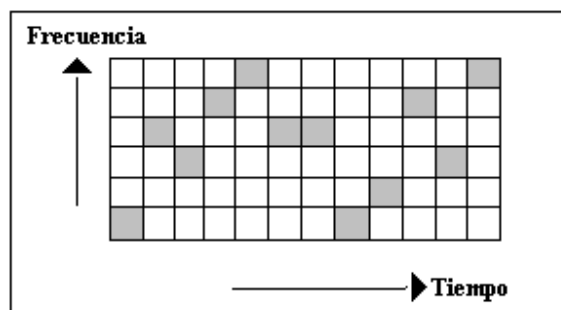
En CDMA el código puede emplearse de diferentes formas en el proceso de modulación y demodulación de la señal expandida en frecuencia, dando como resultado cuatro tipos de CDMA.

1.2.2.1. FH-CDMA (Frequency Hopping CDMA) o CDMA por saltos de frecuencia

En FH-CDMA el transmisor cambia a cada cierto tiempo la frecuencia de transmisión como se muestra en la siguiente figura. Esta secuencia de cambio de frecuencia es pseudoaleatoria y utiliza un código para generarla.

Varias comunicaciones pueden llevarse a cabo si el patrón de elección de frecuencias esta coordinado y nunca hay traslape de frecuencia entre las diferentes secuencias, si se eligen las frecuencias utilizando códigos ortogonales nunca existirá interferencia entre las transmisiones; cada usuario actúa como interferente para las otras pero es una señal bien sincronizada.

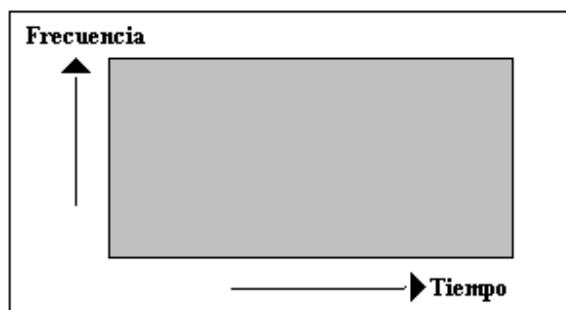
Figura 6. Uso del espectro en FH-CDMA



1.2.2.2. DS-CDMA (Direct Séquence CDMA) o CDMA por secuencia directa

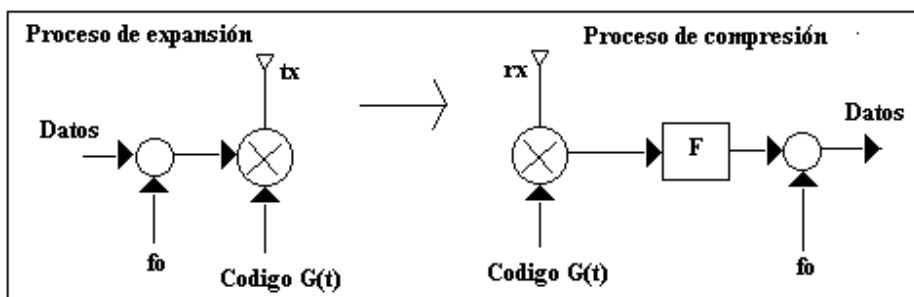
En CDMA por secuencia directa o DS-CDMA todas las señales pueden transmitirse en la misma frecuencia, al mismo tiempo y utilizando el mismo ancho de banda como se muestra en la siguiente figura, la diferencia radica en la codificación de la información.

Figura 7. Uso del espectro en DS-CDMA



El proceso básico de DS-CDMA se muestra en la siguiente figura:

Figura 8. Sistema DS-CDMA básico

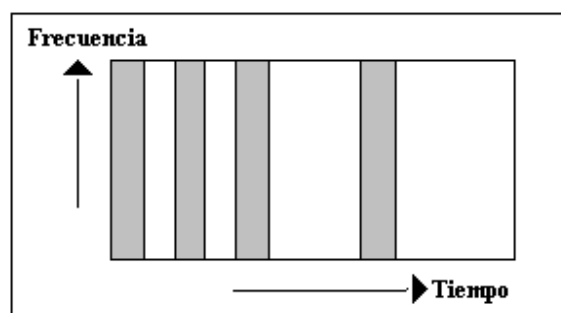


Cada bit de información se representa por un símbolo que consiste en un largo número de bits codificados llamados chips, los cuales se obtienen utilizando los códigos Walsh. Esta secuencia obtenida es utilizada para modular una frecuencia F_0 y finalmente se emplea un código $G(t)$ para expandir la señal. Los códigos de expansión son códigos de seudoruido o PN (Pseudo-Noise) y se eligen debido a sus excelentes propiedades de autocorrelación, ortogonalidad y su fácil generación.

1.2.2.3. TH-CDMA (Time Hopping CDMA) o CDMA por saltos de tiempo

Los saltos de tiempo se logran por medio de una comprensión de información y mandando ráfagas de bits en pequeños intervalos de tiempo pero utilizando todo el espectro para tener una gran velocidad. El principio de cada ráfaga viene determinado por códigos pseudoaleatorios que se asignan a cada usuario, de tal modo que al codificar se eviten traslapes. El uso del espectro se muestra en la siguiente figura.

Figura 9. Uso del espectro en TH-CDMA



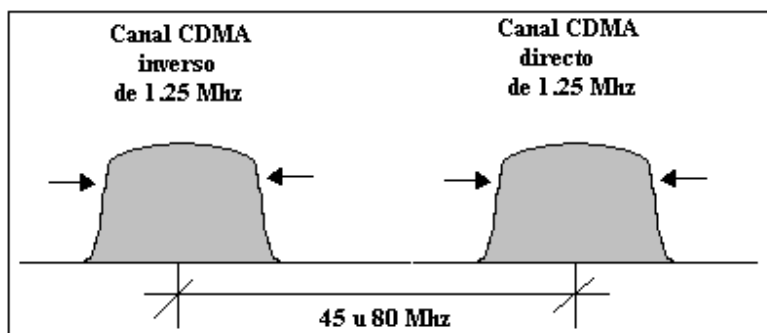
1.2.2.4. Sistemas Híbridos

Cuando se hace uso de sistemas híbridos se tienen cuatro posibles combinaciones de modulación DS/TH, DS/FH, DS/FH/TH. Estos esquemas intentan aprovechar las ventajas de cada uno de los esquemas separados.

1.2.3. Canales de CDMA

Canal CDMA o portadora CDMA o frecuencia CDMA es un canal duplex que consta de dos bandas anchas de espectro electromagnético de 1.25 Mhz. Una de estas bandas es utilizada para la comunicación desde la estación base a la estación móvil (enlace hacia delante o directo o descendente) y la otra para la comunicación desde la estación móvil a la estación base (enlace inverso o ascendente). En el espectro celular 800Mhz, estas dos bandas simples de 1.25 Mhz tienen una separación de 45 Mhz y en el espectro de PCS 1900 Mhz tiene una separación de 80 Mhz como se muestra en la siguiente figura.

Figura 10. Canal CDMA



Un código de canal CDMA es un flujo individual de ceros y unos que se encuentran ya sea en el canal hacia delante (Forward Channel) CDMA o en el canal inverso (Reverse Channel) CDMA y se caracteriza por códigos matemáticos.

1.2.3.1. Códigos Walsh

Es necesario un conjunto 64 códigos matemáticos para diferenciar los 64 posibles canales de código hacia delante que se pueden encontrar en un canal CDMA hacia delante. Los códigos en este conjunto se denominan Códigos Walsh, cada uno de estos códigos tiene una longitud de 64 chips (un chip es un dígito binario 0 o 1). Cada Código Walsh es ortogonal a todos los demás Códigos Walsh, esto significa que es posible reconocer y por lo tanto extraer un Código Walsh específico a partir de una combinación de otros Códigos Walsh que se eliminan en el proceso.

Dos cadenas binarias de la misma longitud son ortogonales si el resultado de aplicar el operador lógico XOR tiene la misma cantidad de 0 y 1.

1.2.3.2. Distinción entre radio bases

Una estación móvil está rodeada de estaciones bases, cada estación base está formada por distintos sectores que transmiten a la misma frecuencia de CDMA. Se definen dos secuencias de dígitos binarios denominadas *Secuencias de PN cortas I y Q* (o *códigos de PN cortos*) para identificar los sectores de las diferentes estaciones bases. Estas secuencias de PN cortas se pueden utilizar de 512 maneras dependiendo del desplazamiento que exista entre ellas.

Las dos secuencias de PN cortas, I y Q tienen una longitud de 32,768 chips, juntas se pueden considerar un vector binario de dos dimensiones con secuencias de componentes distintivos I y Q. Cada secuencia de PN corta se correlaciona con si misma perfectamente si se compara en un desplazamiento de temporización de 0 chips, además cada secuencia de PN corta es ortogonal a una copia de si misma que ha sido desplazada por cualquier número de chips (distinto de 0).

1.2.3.3. Distinción entre canales de código inverso

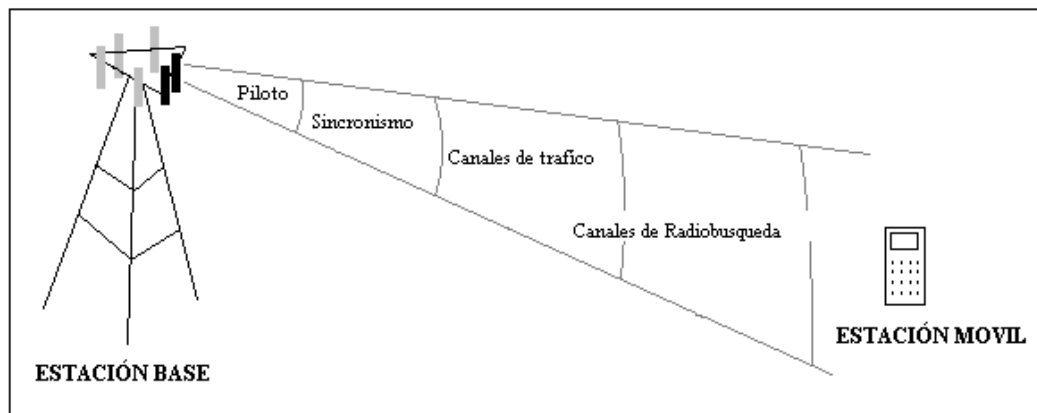
En el mercado habrá una gran cantidad de estaciones móviles, el sistema CDMA debe ser capaz de identificar en forma única cada estación móvil. Se define una secuencia de dígitos binarios denominada secuencia PN larga (o código de PN largo) para identificar en forma única cada canal inverso posible. Esta secuencia es muy larga y se puede usar en trillones de diferentes maneras, cada una constituye un código matemático que se puede usar para identificar a un usuario específico (entonces se denomina código largo de usuario) o a un canal de tráfico inverso de un usuario en particular.

Cada estación móvil usa una secuencia de código largo de usuario única que se genera al aplicar una máscara basada en ESN de 32 bits al generador de códigos largos de 42 bits que se sincroniza con el sistema CDMA durante la inicialización de la estación móvil. Esta secuencia de código largo de usuario es generada a razón de 1.2288 Mcps y requiere 41 días, 10 horas, 12 minutos y 19.4 segundos para terminar. Las partes de códigos largos generados por diferentes estaciones móviles durante una llamada no son necesariamente ortogonales pero si lo suficientemente diferentes para permitir una decodificación confiable en el enlace inverso.

1.2.3.4. Canales de código hacia delante

Una estación móvil sintonizada a una frecuencia CDMA específica recibe un canal o portadora CDMA hacia delante desde un sector de una estación base, este canal CDMA hacia delante envía una señal compuesta que consta de 64 canales de código hacia delante. Entre canales se encuentra el canal piloto, el canal de sincronismo, los canales de radiobúsqueda y canales de tráfico como se muestra en la siguiente figura.

Figura 11. Canales de código hacia delante



1.2.3.4.1. Canal Piloto

Utiliza el Código Walsh 0. El piloto es un radiofaro estructural que no contiene flujo de caracteres. Además es una fuente de temporización usada en la adquisición del sistema y como dispositivo de medición durante un Handoff.

1.2.3.4.2. Canal de sincronismo

Utiliza el Código Walsh 32. El canal de sincronismo transporta un flujo de datos de información e identificación de parámetros usados por los teléfonos móviles durante la adquisición del sistema.

1.2.3.4.3. Canales de radio búsqueda (Paging)

Utilizan los Códigos Walsh de 1 a 7. Puede haber de uno a siete canales de radiobúsqueda (paging), según lo determinen las necesidades de capacidad.

Los Canales de radiobúsqueda transportan información acerca de mensajes de búsqueda, parámetros del sistema y solicitudes de establecimientos de llamadas.

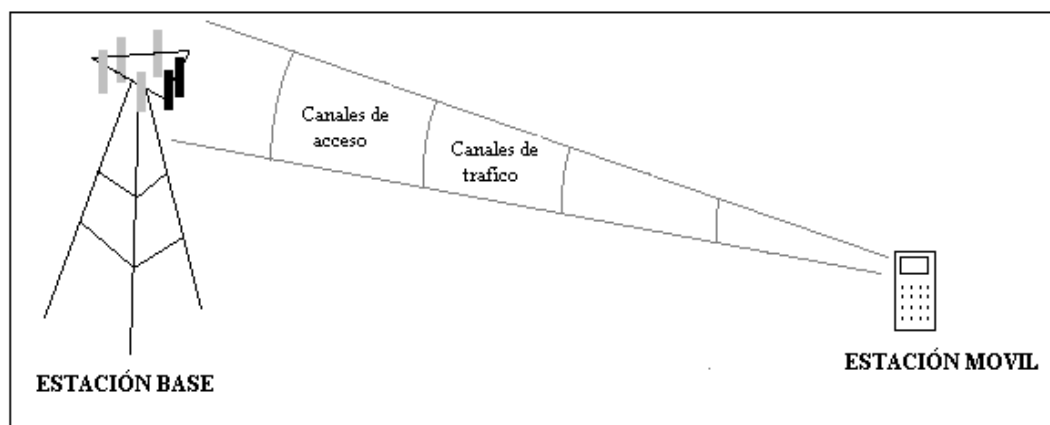
1.2.3.4.4. Canales de tráfico

Utilizan cualquiera de Códigos Walsh excepto los utilizados para los canales piloto, sincronismo y radiobúsqueda. Los canales de tráfico se asignan a usuarios individuales para transportar tráfico de llamadas. Todos los códigos walsh restantes están disponibles, sujetos a la capacidad general limitada por el ruido.

1.2.3.5. Canales Inversos

Hay dos tipos de canales inversos CDMA: canales de trafico, canales de acceso como se muestra en la siguiente figura.

Figura 12. Canales Inversos



1.2.3.5.1. Canales de tráfico

Los canales de tráfico se utilizan durante llamadas reales para transmitir tráfico a la BTS. Una máscara de código largo pública o privada del usuario define un canal de tráfico inverso. Existe la misma cantidad de canales de tráfico inverso que de teléfonos CDMA en el mundo.

1.2.3.5.2. Canales de Acceso

Las estaciones móviles que aun no están en una llamada utilizan los canales de acceso para transmitir solicitudes de registros, solicitudes de establecimientos de llamadas, respuestas de solicitudes y otra información de señalización. Una máscara de código largo pública e independiente de celda o sector define un canal de acceso. Los canales de acceso forman pareja con los canales de radio búsqueda (paging), puede haber hasta 32 canales de acceso por canal de radio búsqueda.

1.2.4. Control dinámico de potencia

El control de potencia juega un papel muy importante en los sistemas celulares, para controlar las interferencias e incrementar la capacidad de los mismos, y con ello aumentar el desempeño global.

En el móvil el control de potencia ayuda a disminuir los efectos de la interferencia por móvil cercano a lejano (near-far interference), las estaciones móviles cercanas a la estación base deben transmitir con menor potencia que aquellas ubicadas mas lejos. El control de potencia ayuda a ahorrar el consumo de potencia de la batería, alargando el tiempo de aire de la estación móvil.

1.2.4.1. Control de potencia lazo abierto Inverso

La estación móvil realiza una estimación de la potencia de transmisión basándose en la potencia total recibida y algunos parámetros de corrección entregados en el Mensaje de parámetros de acceso.

Entre los problemas que presenta el control de potencia de lazo abierto están:

- Supone la misma pérdida de trayecto en ambas direcciones, por lo tanto no es responsable de la pérdida de trayecto asimétrica. Esta pérdida asimétrica es debido que lo canales directo e inverso se encuentra en distinta frecuencia provocando que las características de propagación y desvanecimiento sean diferentes y esto provoca que se den algunos errores.
- Los cálculos se basan en la potencia total recibida; por lo tanto la potencia que recibe la estación móvil desde otras estaciones base genera errores.

1.2.4.2. Control de potencia de lazo cerrado

Este esquema compensa las pérdidas asimétricas entre el enlace directo e inverso debidas principalmente al desvanecimiento rápido Rayleigh/Rician y por diferencias de ganancias de las antenas transmisoras y receptoras.

La estación base monitorea la potencia de las señales recibidas de cada estación móvil en la celda y lo compara con un umbral especificado (setpoint), dependiendo de los resultados ajusta el nivel de transmisión de cada estación móvil por medio de un bit de potencia. Este bit de potencia es enviado en el canal directo e indica al móvil si debe incrementar o decrementar su potencia de transmisión. Hay un incremento o decremento fijo por cada bit de control, generalmente de 0.5 dB o 1 dB. Este bit se transmite 800 veces por segundo o cada 1.25 ms.

1.2.4.3. Control de potencia en lazo externo inverso

Si la potencia medida en la estación base proveniente de la estación móvil está por debajo de umbral especificado (setpoint), la estación base envía un bit de control dinámico de potencia "0" ordenando a la estación móvil elevar su salida de potencia; si es mayor envía un bit de control dinámico de potencia 1, que ordena a la estación móvil reducir su salida de potencia.

En el lazo externo inverso el setpoint se eleva o se reduce para alcanzar el nivel deseado de Tasa de tramas erróneas (FER-Frame Error Rate), que por lo general es 1%.

1.2.4.4. Control de potencia en el enlace directo

El control dinámico de potencia en el enlace directo puede determinarse por la distancia o por la razón portadora-a-interferencia.

En el control determinado por distancia intenta que las estaciones móviles cercanas a la estación base reciban menos potencia que aquellas ubicadas mas lejos de la misma. Este esquema de control de potencia es el apropiado para ambientes sin ensombrecimientos donde la atenuación de potencia se debe principalmente por las perdidas de propagación o perdidas por distancia. Este esquema aumenta la capacidad del sistema de 13 a 30 usuarios en un ambiente libre de ensombrecimiento.

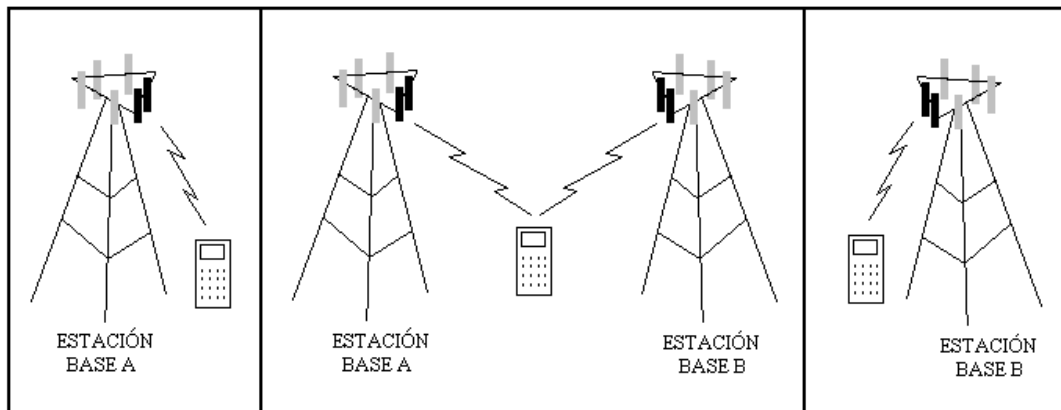
En el control determinado por la razón portadora-a-interferencia (C/I) la señal interferencia se minimiza de cuerdo a las necesidades de los usuarios. Cada usuario manda información de su relación C/I a la estación base y esta decide si la potencia transmitida a dicho usuario debe aumentar o disminuir. Es esquema aumenta la capacidad del sistema de un usuario a 38 usuarios en un ambiente de ensombrecimiento.

El estándar IS-95-A provee un mecanismo de control de potencia; la estación móvil mide la potencia recibida y genera un mensaje de reporte de medición de potencia (PMRM) donde se especifica el numero de tramas erróneas experimentadas en la transmisión y esto sirve como base para ajustar la potencia en el enlace directo. Este tipo de información puede enviarse periódicamente o cuando sobrepasa un limite de error.

1.2.5. Transferencia de llamadas o Handoff

Handoff es el proceso mediante el cual la estación móvil mantiene comunicación con la central de conmutación de telefónica móvil (MTSO-Mobile Switching Office) cuando se desplaza desde el área de cobertura de una estación base a la de otra estación base como se muestra en la siguiente figura.

Figura 13. Handoff



Los Handoffs mantienen la llamada durante las siguientes condiciones:

- El abonado cruza los límites de la celda
- El abonado experimenta ruido o interferencia por encima de un umbral especificado (threshold)
- Un componente de la estación base experimenta una situación de fuera de servicio durante una llamada.

1.2.5.1. Etapas de Handoff en CDMA

Los Handoffs comprenden de tres etapas: activación, selección del objetivo, ejecución.

La activación es la acción que inicia el procesamiento del handoff. En un handoff suave de CDMA se produce la activación de handoff cuando se recibe en la estación móvil un nuevo canal piloto con una potencia mayor que el umbral fijado.

Selección del objetivo es el proceso para determinar el sector destino del handoff. En el handoff suave de CDMA el proceso de selección del objetivo esta incorporado en la estación móvil y se produce al mismo tiempo que la activación del handoff.

La ejecución es el proceso en la cual la red efectivamente transfiere la llamada al objetivo. En este proceso se incluye actividades como la asignación de recursos.

1.2.5.2. Tipos de Handoffs

1.2.5.2.1. Handoff libre

Se produce cuando una estación móvil se ha movido desde el área de cobertura de una estación base hacia el área de cobertura de otra estación base mientras se encuentra en estado de canal libre. Un handoff libre se realiza cuando la estación móvil detecta una señal de piloto desde otra estación base que es suficientemente más potente que la de la estación base actual.

1.2.5.2.2. Handoff Suave

En este handoff la estación móvil inicia comunicaciones con una nueva estación base sin interrumpir las comunicaciones con estación base actual que presta el servicio. El handoff suave solamente se puede utilizar entre canales de CDMA que tienen idénticas asignaciones de frecuencia y las BTS participantes se deben estar conectadas al mismo MTSO (BSC/MTX). Además el handoff suave permite diversidad de trayectos de Canal de trafico hacia delante o inverso en los limites de las estaciones base.

1.2.5.2.3. Handoff más suave

Es un caso especial del handoff suave, se produce entre sectores de la misma celda. El MTX tiene conocimiento del handoff suave pero no participa, la estación base es la encargada de gestionar todas las actividades.

1.2.5.2.4. Handoff suaves entre sistemas (ISSHO-Inter-System Soft Handoff)

El handoff entre sistemas es aquel en el que la estación móvil inicia comunicaciones con una nueva celda controlada por un BSC diferente mientras mantiene la comunicación con la celda antigua controlada por el BSC origen.

1.2.5.2.5. Handoff fuerte de CDMA a CDMA

El handoff fuerte de CDMA a CDMA se realiza en cualquiera de las siguientes situaciones:

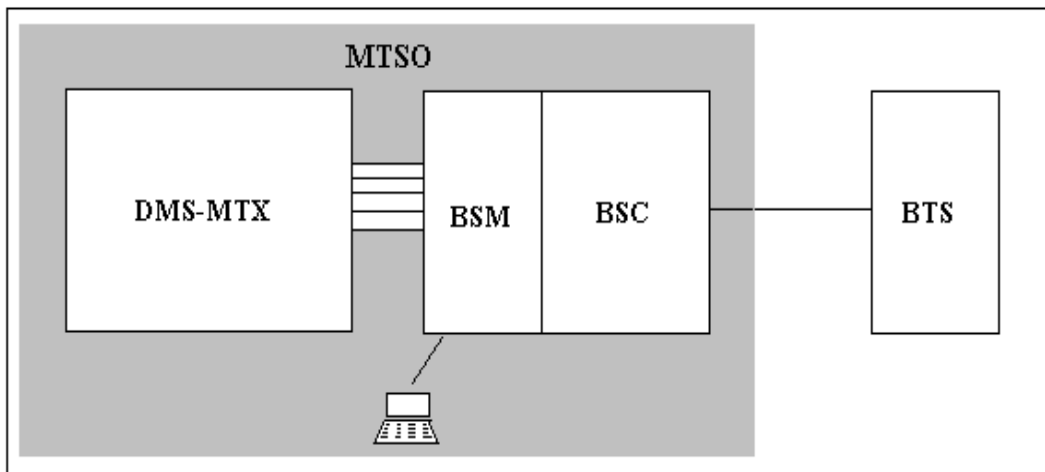
- La estación móvil esta en transición entre dos celdas que operan en diferentes frecuencias de CDMA.
- La estación móvil esta en transición entre dos celdas que están conectadas a diferentes MTSO, ya sea que estén en el mismo sistema CDMA o en sistemas diferentes.

1.2.5.2.6. Handoff CDMA a analógico

Este proceso se lleva a cabo cuando la estación móvil se desplaza hacia otro lugar donde no existe servicio CDMA, pero existe servicio de algún sistema analógico por ejemplo el Servicio de Telefónica Móvil Avanzado (AMPS- Advanced Mobile Phone Service). En este tipo de handoff la estación móvil se dirige desde el canal de tráfico hacia delante a un canal de voz analógico del sistema analógico.

1.2.6. Principales subsistemas del sistemas CDMA

Figura 14. Subsistemas del sistema CDMA



1.2.6.1. Sistema multiplex digital – Central de telefonía movil (DMS-MTX – Digital Multiplex System – Mobile Telephone Exchange)

La MTX establecerá y eliminara miles conexiones durante las operaciones normales y desempeña las siguientes funciones:

- registra información de facturación
- realiza diagnósticos
- genera registros
- registra información de llamadas
- registra información estadística
- enruta llamadas
- valida usuarios

1.2.6.2. Gestor de estación base (BSM – Base Station Manager)

El BSM proporciona una interfaz grafica de usuario (GUI – Graphical User Interface) para las operaciones, administración y mantenimiento del Subsistema de estación base transceptora (BTS) y del controlador de estación base (BSC). El BSM desempeña las siguientes funciones:

- descargar software
- inicialización y habilitación de elementos de red
- almacenamientos de archivos de configuración y software
- recolección y análisis de base de datos
- análisis de desempeño
- monitorización, pruebas y diagnostico
- administración del sistema

1.2.6.3. Controlador de estación base (BSC – Base Station Controller)

Controla el enrutamiento de mensajes y de señalización entre este mismo, la MTX, el BSM y la BTS. También proporciona codificación y decodificación de voz. El BSC proporciona funciones para el procesamiento de llamadas como:

- control de potencia
- opciones de servicios
- handoffs suaves

1.2.6.4. Subsistema de estación base transceptora (BTS – Base Station Transceiver)

Proporciona la interfaz aérea hacia la estación móvil (MS). El subsistema de BTS puede contener múltiples BTS operando con diferentes asignaciones de frecuencia. Entre las funciones de la BTS están:

- convierte paquetes HDLC con codificación de voz digital en señales de RF
- convierte señales de RF en paquetes HDLC con codificación de voz digital
- control de potencias
- Handoffs más suaves

2. REPETIDORES DE RADIOFRECUENCIA

2.1. Repetidor

Un repetidor es un equipo que permite extender la cobertura de una estación base a regiones donde no se puede acceder con ésta, o donde el tráfico proyectado es muy bajo para hacer esta inversión o donde los costos de Transmisión se vuelven muy elevados y hay que proveer de cobertura, ampliando de esa manera el servicio de dicha estación base. El repetidor funciona como amplificador bidireccional inalámbrico el cual recibe y reamplifica una señal proveniente de una estación base, este proceso se realiza tanto en Down Link (señal que va de la estación base a la estación móvil) como en Up Link (señal que va de la estación móvil a la estación base).

Los repetidores se utilizan generalmente en poblados o carreteras donde se tiene bajos niveles de recepción y cuya densidad poblacional es media o baja, para evitar un excesivo de tráfico sobre el sector donador. Además se utilizan en aplicaciones de interiores (edificios, plantas etc.) en donde el tamaño y el costo de equipos convencionales se convierten en variables importantes.

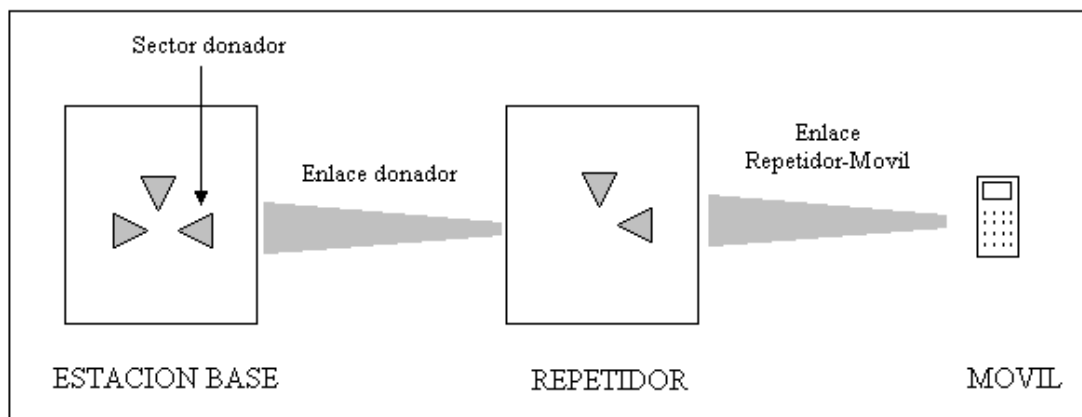
Para obtener los máximos beneficios de un repetidor este debe tener siguientes características:

1. Proporcionar excelentes niveles de cobertura
2. Bajo impacto sobre la celda donadora
3. Alto nivel de control sobre el equipo
4. Bajo costo de mantenimiento.

2.1.1. Elementos básicos para el funcionamiento de un repetidor

Los elementos básicos que interactúan en el funcionamiento de un repetidor se muestran en la siguiente figura:

Figura 15. Esquema básico del funcionamiento de un repetidor



Sector Donador: Es un sector específico dentro de la estación base, este se encarga de proveer los niveles de señal necesarios para el buen funcionamiento del repetidor. Además maneja el tráfico proveniente de las áreas donde proporciona cobertura el repetidor.

Enlace Donador: Esta definido como el camino de la señal entre el conector de salida del sector donador y el puerto de entrada al repetidor. Este enlace puede ser a través del aire o un medio óptico.

Repetidor: Se encarga de recibir y amplificar la señal proveniente del sector donador.

Enlace Repetidor-Móvil: Esta definido como el camino de señal amplificada entre el conector de salida del repetidor y el móvil.

2.2. Tipos de repetidores

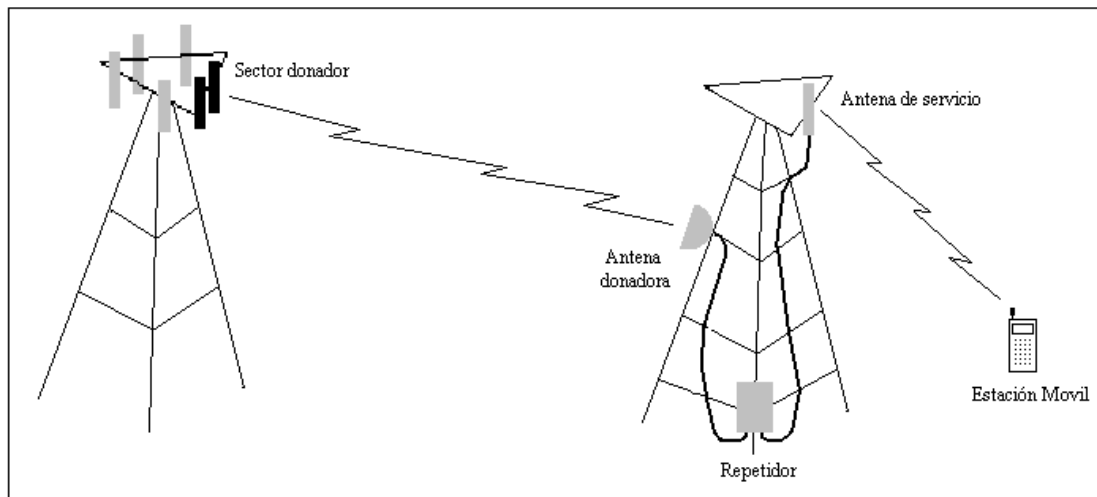
Según las características del enlace donador los repetidores se pueden dividir en:

1. Repetidores de toma por aire (directos)
2. Repetidores de Fibra (ópticos)

2.2.1. Repetidores de toma por aire

Estos tipos de repetidores son llamados repetidores de toma por aire porque la señal proveniente de la BTS es recibida por medio de una antena, y por lo tanto el enlace donador se produce a través del aire. La configuración básica de un repetidor de toma por aire se muestra en la siguiente figura.

Figura 16. Repetidor de toma por aire



Estos tipos de repetidores toman la señal proveniente de una estación base por medio de la antena donadora, la señal recibida por la antena se envía al repetidor este la amplifica y finalmente se distribuye en el área de mala cobertura a través de la antena de servicio (amplificación en down link). La señal proveniente de las estaciones móviles es recibida por medio de la antena de servicio y enviada al repetidor, este la amplifica y la envía a la BTS por medio de la antena donadora (amplificación en up link).

La antena donadora esta orientada hacia la estación base que se quiere repetir, generalmente tiene que tener buena directividad, es por eso que por lo general se utilizan antenas tipo yagui o antenas parabolicas con alta directividad. La antena de servicio o de cobertura puede ser del tipo usadas por las estaciones base y debe poseer una buena directividad también. En algunos casos se puede adicionar a los repetidores antenas de diversidad, equipos de cancelación de interferencia, mallas de Faraday o Amplificadores (Boosters) los cuales mejoran el funcionamiento del sistema.

2.2.1.1. Características de enlace donador

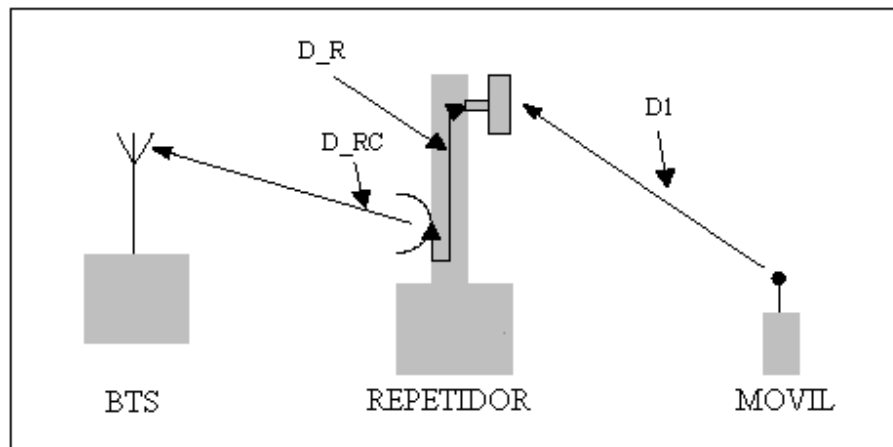
El enlace donador esta definido como relación de enlace entre el conector de salida del sector donador y el puerto de entrada de la antena donadora del repetidor.

La máxima longitud del enlace donador depende de dos consideraciones, el retardo de ida y vuelta de la señal (Round Trip Delay-RTD) y la máxima pérdida de la trayectoria.

El tiempo de transmisión del móvil es sincronizado en el enlace hacia delante (forward link). El enlace hacia delante (forward Link) es retardado debido al retardo de propagación. Así la señal recibida en el sector donador proveniente del móvil es retardada del tiempo de sistema por dos veces el tiempo de propagación en una vía.

El retardo es debido a tres factores, el retardo del enlace donador (D_{RC}), el retardo del equipo repetidor (D_R), retardo del enlace repetidor-móvil ($D1$). En la siguiente figura se muestra la configuración típica de un repetidor con sus respectivos retardos de tiempo. El total de retardo en una vía es igual a $D_{RC} + D_R + D1$, este valor no exceder los 256 chips.

Figura 17. Configuración típica de un repetidor para cálculos de RTD



El camino de propagación es el espacio, las pérdidas a través del enlace donador dependen de los mismos factores que en los enlaces de radio de microonda. En los enlaces de gran longitud es necesario que la propagación en el camino donador sea similar a la propagación en espacio libre, ya que con ello se tendrá el mínimo de pérdidas de propagación a través del camino donador. Para que el camino donador presente características de espacio libre es necesario que el 60% de la zona de fresnel este limpia. Si la zona de fresnel despejada es mayor que 0.6, el enlace donador puede ser calculado usando utilizando la ecuación de pérdidas de trayectoria en espacio libre.

$$L_p = 96.6 + 20 * \text{Log} (F) + 20 * \text{Log} (D)$$

Donde

L_p = Perdidas de trayectoria (dB)

F = Frecuencia (Ghz)

D = Distancia (Millas)

La zona de fresnel despejada es crítica para mantener la calidad en el enlace donador. Sin embargo en algunos enlaces de una milla o menos la zona de fresnel despejada no es necesaria. En enlaces cortos la señal del repetidor necesita mantenerse dentro de ciertos limites tal que no sobrecargue la entrada del repetidor, esto se logra usando antenas de poca ganancia o atenuadores de línea. En condiciones donde la zona de fresnel despejada sea menor a 0.6 se recomienda que la perdida del enlace sea medida.

2.2.1.2. Aislamiento y separación de antenas

2.2.1.2.1. Aislamiento

El aislamiento es una medida de la pérdida de señal desde la antena donadora hacia la antena de servicio o viceversa. Este se mide en decibeles (dB). El problema aparece cuando existe realimentación de la señal de una antena hacia la otra, en este caso aparecen oscilaciones sobre la señal, manifestándose como variaciones fuertes en amplitud y fase y distorsiones de señal. Las oscilaciones producen una reducción en el área de cobertura, degradación del desempeño del sector donador y finalmente el daño del equipo.

Para determinar si un repetidor presentara oscilaciones, se debe calcular el margen de ganancia, el cual se define como:

Margen de ganancia (dB)= Aislamiento de Antenas (dB) – Ganancia del Repetidor(dB)

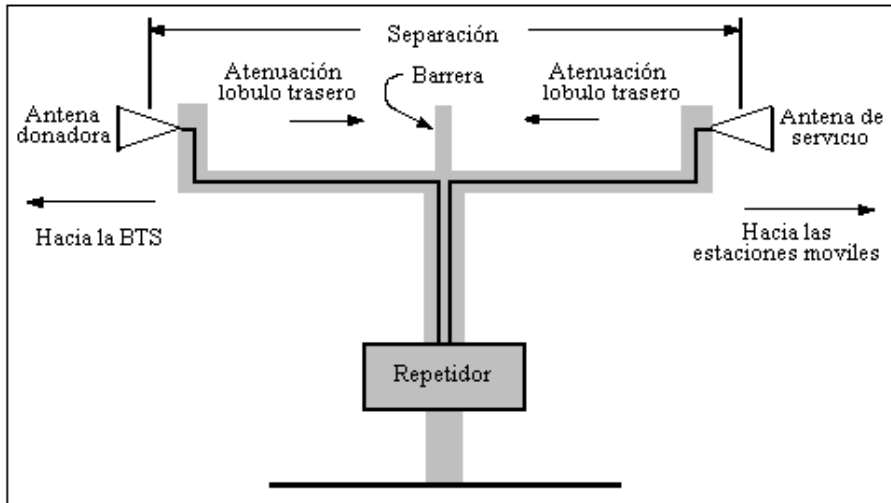
15 dB es el valor de margen de ganancia mínimo recomendado para mantener una buena calidad de señal. Por ejemplo un repetidor que tenga una ganancia de 85 dB debe tener como mínimo un aislamiento entre antenas de $85 + 15 = 100$ dB. Entonces se puede decir que el valor del aislamiento entre antenas debe como mínimo ser 15 dB mayor a la ganancia del repetidor.

Para aumentar el aislamiento y por consiguiente el margen de ganancia se recurre a la separación vertical y horizontal de la antena donadora y la antena de servicio. Y en casos especiales se usan escudos entre la antena donadora y la antena de servicio.

2.2.1.2.2. Separación horizontal de antenas

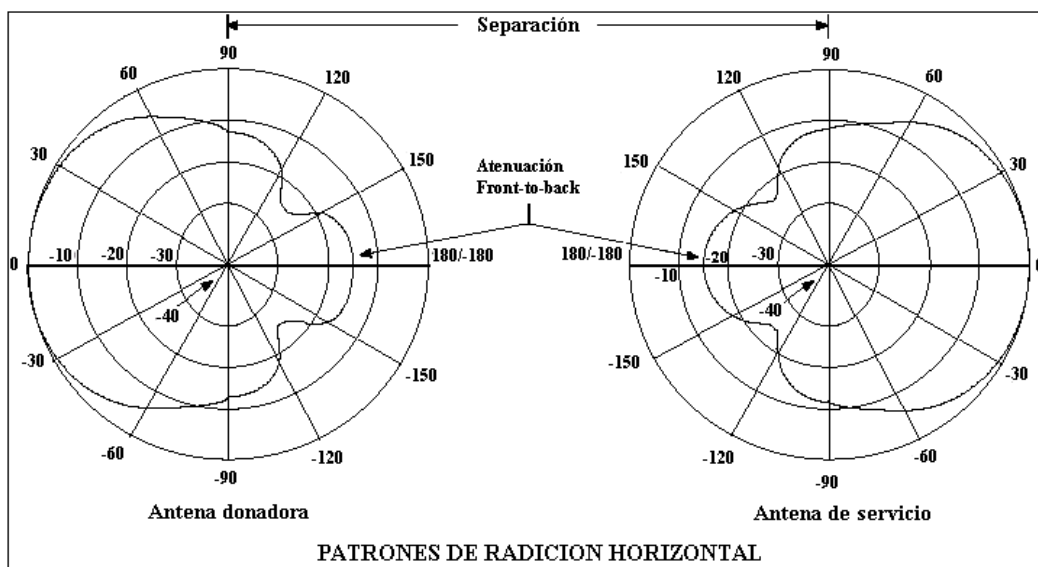
En la configuración de separación horizontal que se muestra en la siguiente figura el aislamiento entre antenas queda en función de la razón front-to-back de cada una de las antenas y la separación existente entre ellas. Esta configuración no es recomendada a menos que exista alguna barrera física entre las antenas como por ejemplo, un edificio, una caseta, un tanque de agua o un escudo.

Figura 18. Configuración de separación horizontal de antenas



En la siguiente figura se muestra los patrones de radiación para una configuración de separación horizontal, como podemos observar la atenuación front-to-back es el factor determinante para el aislamiento. Si se colocara un obstáculo entre las dos antenas el valor del aislamiento aumentara drásticamente.

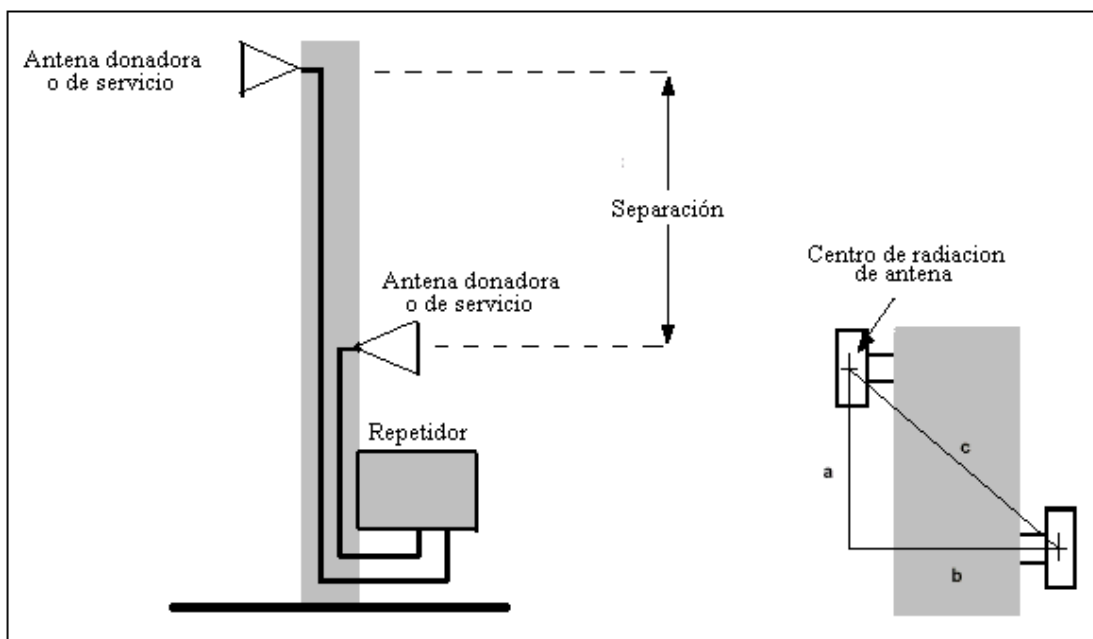
Figura 19. Patrones de radiación para una configuración horizontal



2.2.1.2.3. Separación vertical de antenas

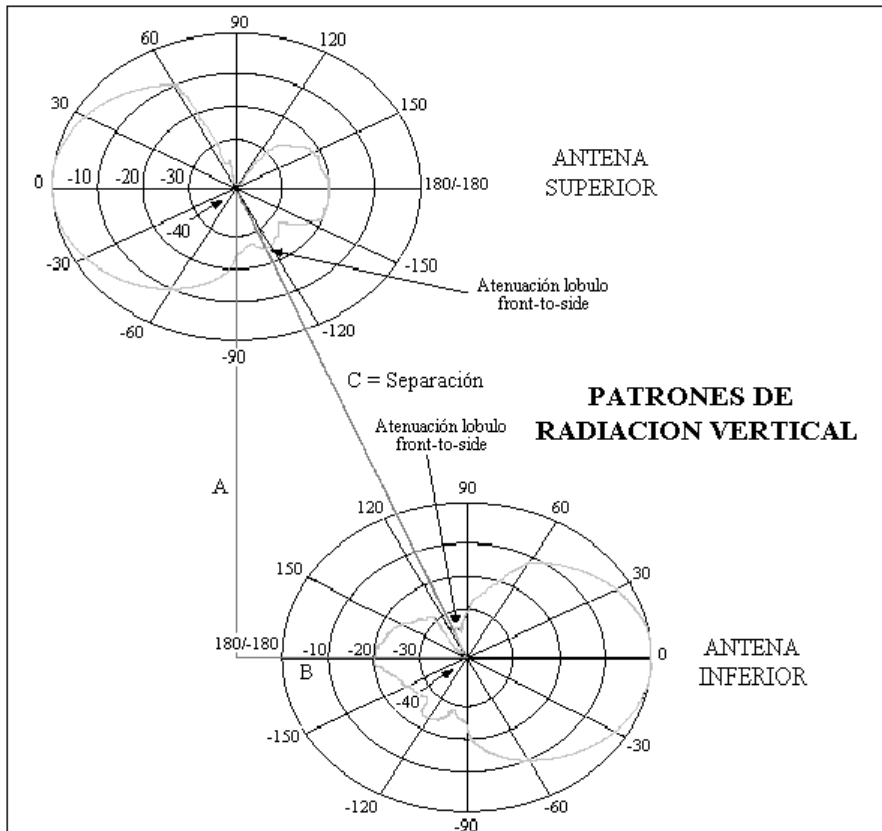
El método más común de instalación de antenas del repetidor es el de separación vertical. Como se muestra en la siguiente figura una antena se coloca en una cara de un poste o una torre, la otra antena se coloca en cara opuesta pero separada verticalmente de la otra antena. En este caso la distancia de separación vertical es igual a la hipotenusa del triángulo formado por los centros de radiación de cada antena.

Figura 20. Configuración de separación vertical de antenas



En la siguiente figura se muestra los patrones de radiación de dos antenas separadas verticalmente, en esta aplicación es la atenuación del lóbulo lateral de una antena en dirección a la otra antena la que determina el aislamiento.

Figura 21. Patrones de radiación de una separación vertical de antenas



2.2.1.2.4. Medición del Aislamiento

La medición del aislamiento es necesaria antes de la puesta en servicio de un repetidor, ya que estos valores limitan la ganancia máxima del repetidor sin que existan problemas de oscilación.

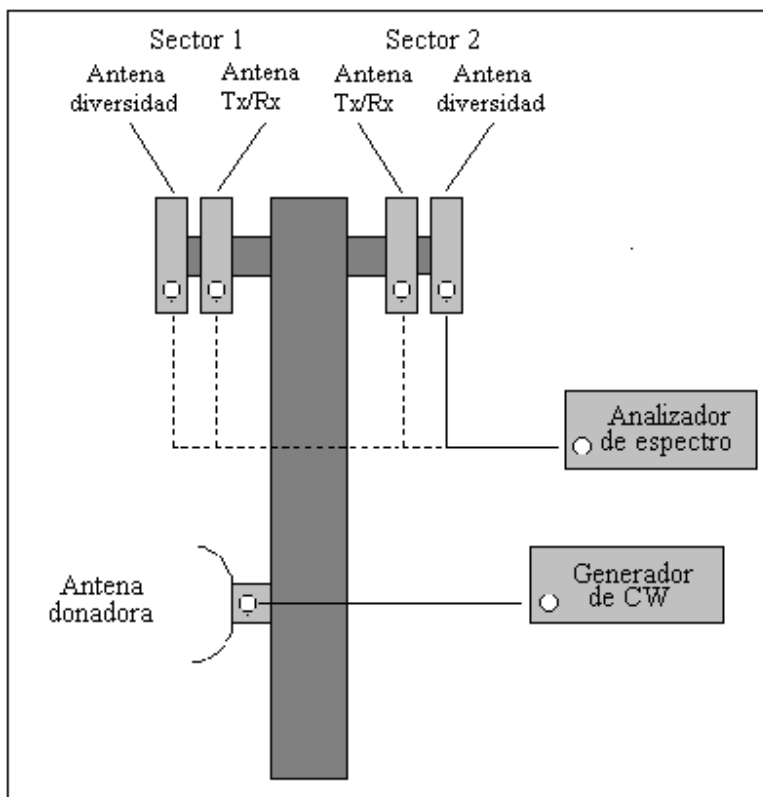
El equipo necesario para realizar la medición es:

- Un analizador de espectro
- Un generador de señal de onda continua (CW) de radio frecuencia con capacidad de potencia de transmisión de 10 dBm
- Dos cables coaxiales de baja pérdida
- Conectores y adaptadores necesarios

Para realizar las pruebas de aislamientos de antena donadora a antena subscriptora es necesario seguir los siguientes pasos.

1. Selecciones en el generador de señal una frecuencia no utilizada para realizar la prueba, de esta forma no interferirá con la red existente o la red de otros proveedores.
2. Conecte el Generador de señal directamente a la guía de la antena donadora. Transmita utilizando una onda continua (CW) con potencia de 10dB.
3. Conecte el analizador de espectro a las guías de las antenas de servicio (una a la vez) como se muestra en la siguiente figura. Mida el nivel de señal de onda continua (CW) transmitida por el generador de señal. Si el repetidor esta adecuado con diversidad haga la prueba para esta antena también.
4. Calcule el valor de aislamiento para cada guía utilizando la siguiente formula:
$$\text{Potencia de transmisión (Tx)} - \text{Potencia de recepción (Rx)} = \text{Aislamiento}$$
5. Use la antena con peor aislamiento como diversidad.
6. El valor de aislamiento medido es el factor limitante para el ajuste de ganancia del equipo. No exceda este limite en la ganancia downlink o en uplink.

Figura 22. Medición de aislamiento

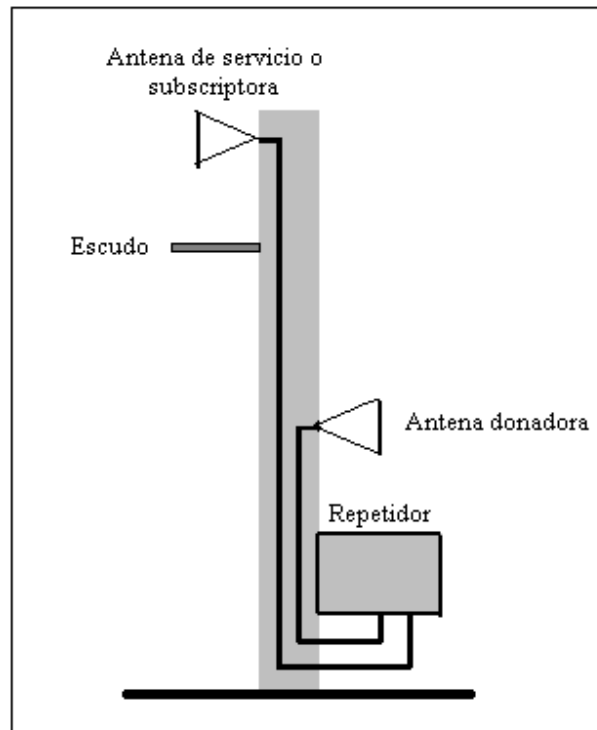


2.2.1.2.5. Escudos

Los escudos se utilizan para mejorar el aislamiento entre antenas, y con ello lograr colocar mas cerca la antena donadora y la antena de servicio sin que exista oscilación del repetidor como se muestra en la siguiente figura. La función de escudo es atenuar señal de retroalimentación de la antena donadora a la antena de servicio o viceversa, la máxima atenuación posible para un escudo es de 9 a 11 dB.

La mejor ubicación del escudo es a 2 o 4 longitudes de onda de la antena subscriptora o de servicio, y el tamaño del escudo debe ser mayor de 3 a 4 longitudes de onda que la antena que tiene el escudo.

Figura 23. Ubicación del escudo



2.2.1.3. Margen de inyección de ruido (NIM)

La diferencia del nivel de potencia entre el ruido inyectado y el efectivo piso de ruido en la entrada del sitio de celda es llamada margen de inyección de ruido (NIM), y se calcula de la siguiente manera.

$$\text{NIM} = 10 * \text{Log} (P_{\text{piso de ruido}}/P_{\text{ruido inyectado}})$$

La selección de un valor de NIM para cada repetidor afectara importantes parámetros, como por ejemplo la desensibilización de la BTS o rizo de ruido, figura de ruido en cascada del repetidor, y la ganancia disponible.

Mientras más grande sea el NIM se reduce el rizo de ruido de la BTS, se incrementa la figura de ruido en cascada del repetidor y decrece la ganancia disponible. Según sea la aplicación se determinara cual parámetro es más importante. Para aplicaciones de gran cobertura como por ejemplo en carreteras el NIM se seleccionara en 0 dB, el cual es un compromiso razonable para mínima desensibilización de la BTS y figura de ruido en cascada del repetidor, y máxima ganancia disponible. Para aplicaciones de cobertura en edificios en las cuales es menos sensible incrementar la figura de ruido en cascada del repetidor, el valor de NIM se puede seleccionar más grande y con ello reducir la desensibilización de la BTS. En una típica configuración exterior con el NIM igual a 0 dB, la desensibilización de sector donador es de 3 dB para un repetidor, 4.8 dB para 2 repetidores, 6 dB para 3 repetidores, y 7 dB para 4 repetidores, no es recomendable tener mas de 4 repetidores por sector donador. Note que la desensibilización solo se produce sobre el sector donador de la BTS, permaneciendo los demás sectores sin cambios.

2.2.1.4. Ajuste de ganancia

La selección de las ganancias (forward y reverse) es la parte más importante en la activación de un repetidor, porque ellas determinan el buen o mal funcionamiento del sistema. Los el valores de las ganancias son limitados por dos factores, el aislamiento y el NIM (margen de inyección de ruido).

La ganancia del repetidor se puede calcular de la siguiente forma:

$$G_{\text{repetidor}} = L_{\text{trayectoria}} - F_{\text{repetidor}} + F_{\text{cell}} - G_{\text{celda_antena}} - G_{\text{repetidor_antena}} - \text{NIM}$$

donde

$G_{\text{repetidor}}$ = Ganancia del repetidor

$L_{\text{trayectoria}}$ = Perdidas en espacio libre entre antenas

$F_{\text{repetidor}}$ = Figura de ruido del repetidor

F_{cell} = Figura de ruido de la BTS

$G_{\text{celda_antena}}$ = Ganancia del sistema antena de celda (ganancia de antena menos perdidas de cables)

$G_{\text{repetidor_antena}}$ = Ganancia del sistema antena donadora

NIM = margen de inyección de ruido

Siempre es recomendable realizar la configuración de ganancias en el campo, con el uso de equipo especial.

2.2.1.5. Métodos para el ajuste de ganancia

En la practica existen dos métodos para el ajuste de ganancia los cuales son: Método indirecto y el método directo.

2.2.1.5.1. Método indirecto para el ajuste de ganancia

Este método es el mas utilizado, consiste en medir la señal de downlink proveniente del sector donador y calcular la ganancia requerida.

Las ventajas de utilizar este método son:

- No requiere abrir las conexiones del sector donador.
- Requiere menos tiempo que el método directo.

- Las desventajas de utilizar este método son:
- La ganancia de Uplink puede no quedar en un valor correcto.

2.2.1.5.2. Método indirecto para el ajuste de ganancia para un repetidor CDMA

Para el ajuste de la ganancia de un repetidor CDMA siga los siguientes pasos:

- La BTS debe estar activa y manejando tráfico
- Conecte un medidor de pilotos (pilot scanner) en la guía de la antena donadora como se muestra en la siguiente figura
- Mida el nivel de señal proveniente de la BTS donadora
- Calcule la potencia del piloto radiada por la BTS

$$P_{\text{piloto_BTS}} (\text{dB}) = 10 * \text{Log} (\% P_{\text{piloto_BTS}} * P_{\text{total_BTS}})$$
- Calcule el margen de variación de potencia de salida de la BTS debido al tráfico

$$M_{\text{potencia_trafico}} (\text{dB}) = P_{\text{total_BTS}} (\text{dB}) - P_{\text{piloto_BTS}} (\text{dB})$$
- Calcule la potencia del piloto que pasa a través del repetidor

$$P_{\text{piloto_repetidor}} (\text{dB}) = P_{\text{total_repetidor}} (\text{dB}) - M_{\text{potencia_trafico}} (\text{dB})$$
- Calcule la ganancia de downlink del repetidor

$$G_{\text{downlink}} (\text{dB}) = P_{\text{piloto_repetidor}} (\text{dB}) - P_{\text{piloto_medida}}$$
- Calcule la ganancia en Uplink

$$G_{\text{uplink}} (\text{dB}) = G_{\text{downlink}} (\text{dB}) - 2 \text{ dB}$$
- Verifique los valores de ganancia obtenidos no sobrepasen los valores máximos de ganancia debido al aislamiento.

Donde:

P_{total_BTS} = Potencia total radiada por la BTS.

% P_{piloto_BTS} = Porcentaje de potencia de piloto respecto a la potencia total de la BTS

P_{piloto_BTS} = Potencia del piloto radiada por la BTS

$M_{potencia_trafico}$ = Margen de variación de la potencia radiada por la BTS debido al trafico que maneja.

$P_{piloto_repetidor}$ (dB) = Potencia del piloto que radiara el repetidor

$G_{downlink}$ (dB) = Ganancia en downlink

G_{uplink} (dB) = Ganancia en Uplink

2.2.1.5.3. Método indirecto para el ajuste de ganancia para un repetidor GSM

Para el ajuste de ganancia de un repetidor GSM siga los siguiente pasos.

- La BTS debe estar activa y manejando trafico
- Coloque un analizador de espectro en la guía de la antena donadora como se muestra en la siguiente figura
- Mida la potencia del canal proveniente del sector donador.
- Calcule potencia real recibida aplicando las correcciones debido a la resolución de ancho de banda del analizador de espectro.

$$P_{canal_real} \text{ (dB)} = P_{canal_medida} \text{ (dB)} - 10 * \text{Log} (BW_{canal}/BWR_{analizador_espectro})$$

- Calcule la ganancia en DownLink

$$G_{downlink} \text{ (dB)} = P_{repetidor} \text{ (dB)} - P_{canal_real}$$

- Calcule la potencia en Uplink

$$G_{uplink} \text{ (dB)} = G_{downlink} \text{ (dB)} - 2 \text{ dB}$$

Donde:

$P_{\text{canal_medida}}$ = Potencia del canal medida en el analizador de espectro

$P_{\text{canal_real}}$ = Potencia del canal después de aplicar las correcciones debido a la resolución de ancho de banda del analizador de espectro

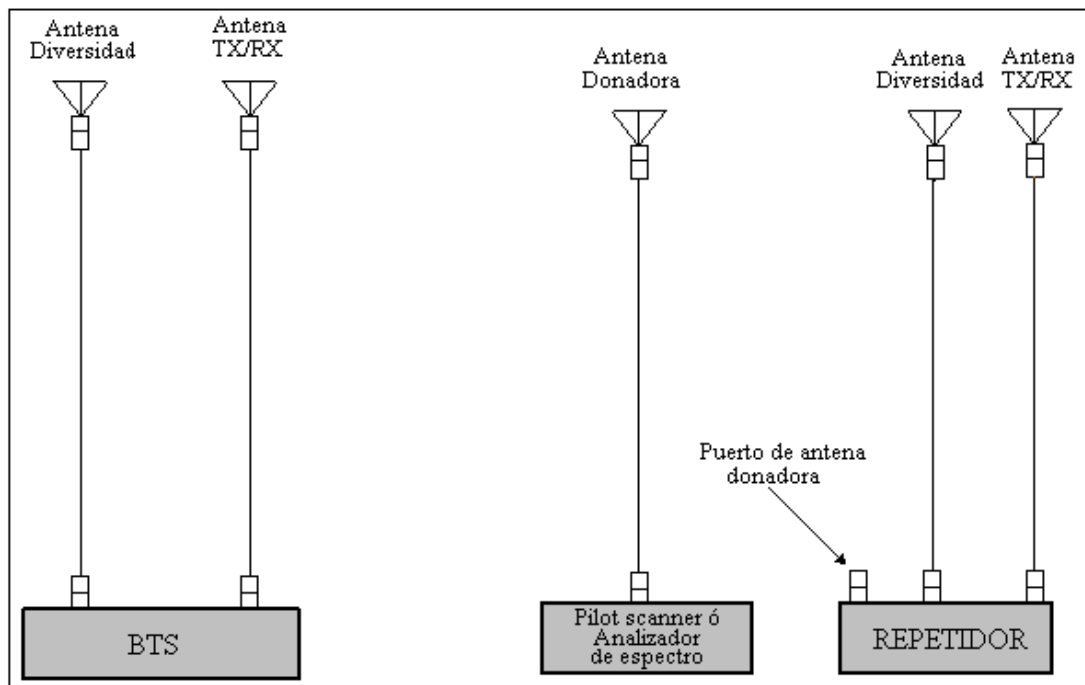
BW_{canal} = Ancho de banda del canal

$BWR_{\text{analizador_espectro}}$ = resolución de ancho de banda del analizador de espectro (resolution bandwidth).

G_{downlink} = Ganancia en dowlink

G_{uplink} = Ganancia en Uplink

Figura 24. Método indirecto para ajuste de ganancia



2.2.1.5.4. Método directo para el ajuste de ganancia

Para el ajuste de la ganancia utilizando el método directo efectúe los siguientes pasos:

- Conecte un Pilot scanner o un analizador de espectro en la guía de la antena donadora
- Mida el nivel de señal de downlink recibida
- Conecte la antena donadora al puerto de antena donadora del repetidor
- Inyecte una señal de onda continua de -80 dBm en el puerto de antena diversidad del repetidor como se muestra en la siguiente figura.
- En el sector donador de la BTS, conecte un analizador de espectro a la guía de antena diversidad
- Mida la señal de onda continua
- Ajuste la ganancia de Uplink en el repetidor hasta que observe los mismos -80 dBm en el analizador de espectro.
- No exceda los límites de las pruebas de aislamiento
- Calcule la ganancia en Downlink
$$G_{\text{downlink}} (\text{dB}) = G_{\text{uplink}} (\text{dB}) + 2 \text{ dB}$$
- Calcule la potencia de salida del repetidor
$$P_{\text{salida_repetidor}} = G_{\text{downlink}} (\text{dB}) + P_{\text{downlink_recibida}}$$
- Verifique que la potencia de salida calculada no sobrepase la potencia máxima del repetidor
- En un repetidor CDMA deje la potencia de salida de 6 a 7 Db menor que la potencia máxima del repetidor. Ya que esto servirá de guarda para el manejo del tráfico.

Donde

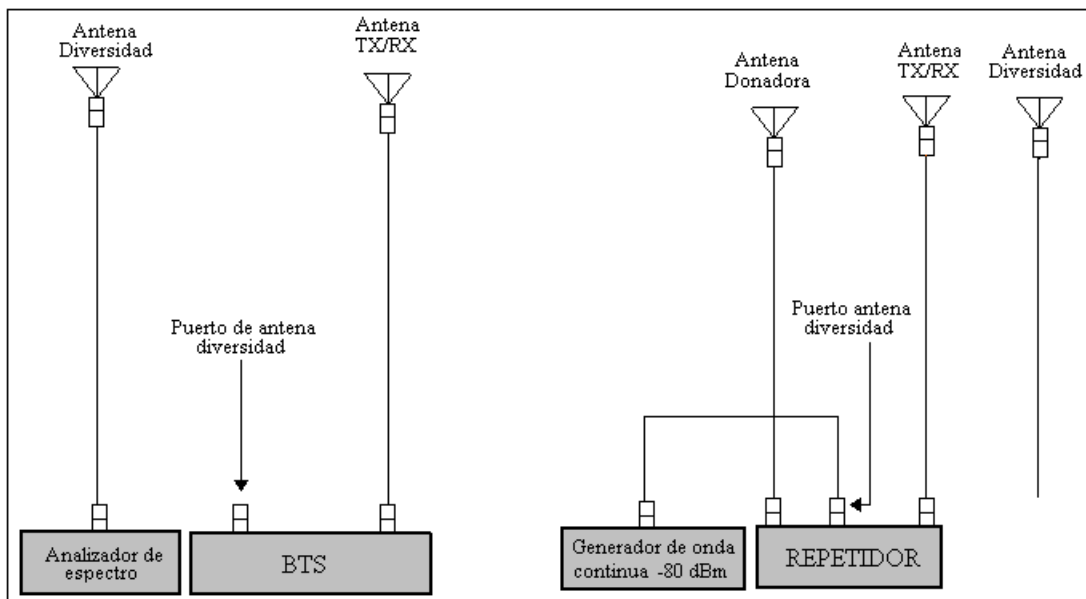
G_{downlink} = Ganancia en downlink

G_{uplink} = Ganancia en Uplink

$P_{\text{salida_repetidor}}$ = Potencia de salida del repetidor

$P_{\text{downlink_recibida}}$ = Potencia recibida en la guía de la antena donadora proveniente del sector donador.

Figura 25. Método directo de ajuste de ganancia



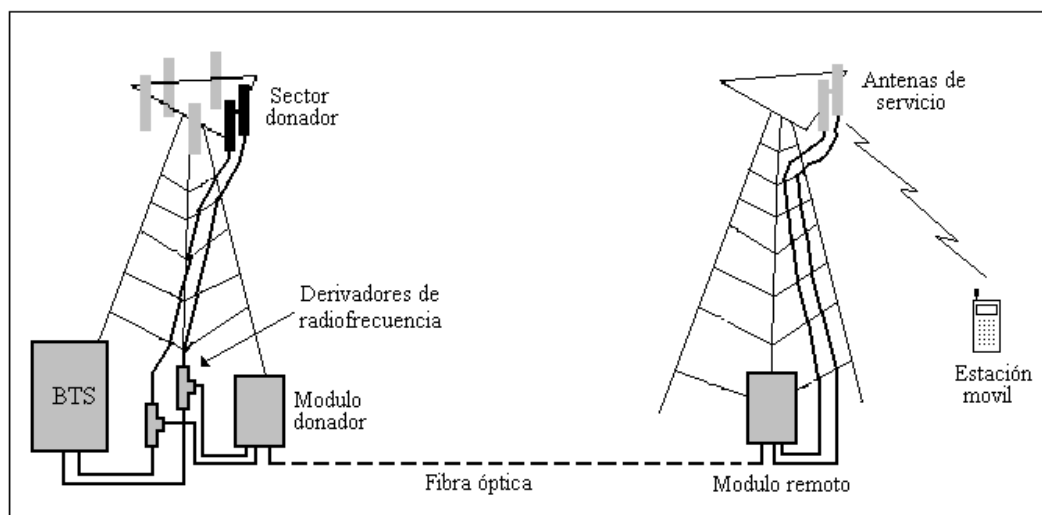
2.2.2. Repetidores de fibra óptica

En los repetidores de fibra óptica el enlace donador es a través de fibra óptica. Generalmente son utilizados en lugares en donde no hay línea vista entre el sitio de celda donador y el sitio repetidor.

Un sistema repetidor de fibra óptica se divide en tres módulos; el modulo donador, fibra óptica y modulo remoto, como se muestra en la siguiente figura.

1. El módulo donador generalmente se encuentra instalado en el sitio celda donador, este se encarga de tomar la señal de radiofrecuencia, convertirla en señal óptica y enviarla al modulo remoto vía fibra óptica.
2. El cable de fibra óptica es el medio por el cual se transmiten las señales ópticas que van del modulo donador al modulo remoto, por lo general son dos líneas de fibra óptica las que se utilizan, una que lleva la señal de Tx/Rx y la otra la señal de diversidad del sector donador.
3. El módulo remoto se encuentra instalado en el sitio repetidor, este encarga de convertir la señal óptica en señal de radiofrecuencia, amplificarla y distribuirla a las antenas de servicio para proporcionar la cobertura.

Figura 26. Repetidor de fibra óptica



Debido a que en los repetidores de fibra óptica no existe antena donadora se evita el problema de retroalimentación de la señal entre la antena donadora y las antenas de servicio como ocurre en los repetidores de toma por aire. La principal desventaja de un sistema de repetidor de fibra óptica con respecto a un sistema repetidor de toma por aire es el precio. Esto debido a que repetidores de fibra óptica son más caros que los repetidores de toma por aire, y si a esto le agregamos el precio del cableado de fibra óptica entre el sitio donador y el sitio repetidor la diferencia de precios llega a ser mayor.

2.3. Optimización de repetidores

En la optimización un sitio repetidor los elementos a tomar en cuenta están relacionados al impacto que tiene el retardo de tiempo (delay) que añade el repetidor al funcionamiento del sistema.

2.3.1. Ventanas de búsqueda y Parámetros

Una de las principales consideraciones de optimización para el despliegue de un repetidor es el ajuste de parámetros de la red asociados con ventanas de búsqueda y tiempo. La unidad de repetidor agregará un retardo de tiempo de aproximadamente de 5-8 microsegundos tanto en el enlace directo (forward) como en el enlace inverso (reverse), por lo tanto ciertos parámetros de tiempo del sistema necesitan ser expandidos, para poder manejar el tiempo de retardo agregado por el equipo repetidor.

Hay cuatro consideraciones básicas relacionado el retardo de tiempo que agregan los repetidores.

1. Ventana de búsqueda del canal de acceso (Access Channel Search Window)
2. Ventana de búsqueda del canal de trafico (Traffic Channel Search Window)
3. Ventanas de búsqueda del suscriptor (Subscriber Search Window)
4. Protección de Interferencia de PN offset (PN offset Interference)

2.3.1.1. Ventana de búsqueda del canal de acceso (Access Channel Search Window)

La ventana de búsqueda del canal de acceso establece el máximo retardo de propagación en la trayectoria completa (ida y vuelta) que la BTS permitirá recibir un intento de originar llamada. Por lo tanto esta ventana establece el máximo radio que la BTS permitirá recibir un intento de originar llamada. Ya que repetidor no solo incrementa el radio (distancia) de la BTS donadora, si no que también añade un retardo de la señal el cual es similar a añadir un retardo de propagación. Este retardo de tiempo puede ser trasladado a distancia. Así la ventana de búsqueda el canal de acceso de la BTS donadora necesitara expandida para compensar la distancia añadida por el repetidor (cobertura del repetidor + retardo de tiempo del repetidor). En muchos sistemas la ventana de búsqueda del canal de acceso es ajustada por medio de ajuste del parámetro Cell radius (radio de la celda). Este parámetro puede ser calculado de la siguiente forma:

$$\text{Cell Radius} = R_{\text{BTS_donadora}} (\text{Km}) + D_{\text{repetidor}} (\mu\text{s}) * 0299 (\text{Km}/\mu\text{s}) + R_{\text{repetidor}} (\text{Km})$$

Donde

Cell Radius = Parámetro que ajusta la ventana de búsqueda del canal de acceso.

$R_{BTS_donadora}$ = Radio de cobertura de la BTS

$D_{repetidor}$ = Retardo de tiempo que agrega el equipo repetidor

$R_{repetidor}$ = Radio de cobertura del repetidor

2.3.1.2. Ventana de búsqueda del canal de tráfico (Access Channel Search Window)

La ventana de búsqueda del canal de tráfico se ajusta generalmente por el parámetro TchAqcCWinSz, este puede cambiar dependiendo del proveedor del equipo.

Este parámetro define la adquisición del canal de tráfico, el cual es usado durante la adquisición del handover de una llamada, es por ello que en algunos casos al momento de incorporar un repetidor es necesario modificar su valor.

2.3.1.3. Ventana de búsqueda del Subscriber

El valor de las ventanas de búsqueda son muy importante porque un tiempo de búsqueda grande provoca caídas de llamadas (causadas por el incremento rápido de nuevos pilotos) y decremento en capacidad (el retardo de tiempo provoca que pilotos vecinos sean incorporado a la lista de pilotos activos y exista mas interferencia, por lo tanto se necesitara mas potencia para mantener el FER a niveles deseados). Tiempos de búsqueda demasiado pequeños provoca la perdida importante de la energía de la señal o la perdida de un nuevo piloto vecino. Debido a esto es importante modificar estas ventanas búsqueda al momento de incorporar un repetidor al sistema.

Las ventanas de búsqueda del suscriptor son:

- Ventana de búsqueda de Activos y Candidatos (Active/Candidate Search Window - SEARCH_WIN_A)
- Ventana de búsqueda de Vecinos (Neighbor Search Window – SEARCH_WIN_N)
- Ventana de búsqueda de restantes (Remainining Search Window – SEARCH_WIN_R)

El parámetro SEARCH_WIN_A representa el tamaño de la ventana de búsqueda de pilotos activos y candidatos. El tamaño SEARCH_WIN_A debería ser lo suficientemente grande para incorporar aproximadamente el 95% de retardo esperado de la energía expandida. Ya que un repetidor tiene un delay interno de 5 a 8 microsegundos y su vez expande el radio de cobertura de la BTS en algunos es necesario incrementar el valor de este parámetro.

Los parámetros SEARCH_WIN_N y SEARCH_WIN_R representan lo tamaños de las ventanas de búsqueda asociadas con el conjunto de pilotos vecinos y el conjunto de pilotos restantes respectivamente. El tamaño de estas ventanas debería ser lo suficientemente grande para poder manejar el diferencial de tiempo de retardo entre el suscriptor y un potencial Handoff de BTS, en la lista de vecinos de suscriptor. En el peor de los casos el diferencial de retardo se producirá en un escenario donde el suscriptor esta próximo a la BTS servidora y el suscriptor intenta Handoff a una BTS distante. Ya que los repetidores aumentan el diferencial de retardo, en algunas aplicaciones de repetidores es necesario incrementar el valor de estos parámetros. Además hay que tomar en cuenta que las relaciones de handoff son simétricas y reciprocas entre celdas vecinas, por lo tanto los parámetros SEARCH_WIN_N y SEARCH_WIN_R necesitan ser ajustados tanto para la celda donadora como para las celdas vecinas de la celda donadora.

2.3.1.4. Protección de Interferencia de PN offset (PN offset Interferente)

Los niveles de protección de interferencia de PN offset son manejados por el parámetro Pilot_Inc. Un incremento en el Pilot_Inc incrementa la separación de PN offset adyacentes. El incremento de separación de PN offsets adyacentes también reduce el número total de PN offset válidos, por ejemplo un incremento de 2 en el Pilot_Inc decrece el número de PN offsets válidos de 512 a 256. Ya que el Cell radius (o retardo de propagación) es un factor a considerar cuando seleccionamos el apropiado ajuste de Pilot_Inc, cuando añadimos un repetidor al sistema puede requerir la reevaluación del ajuste de Pilot_Inc, pero cabe señalar que en la mayoría de los casos de aplicaciones de repetidores no son necesarios cambios en el Pilot_Inc.

3. MEDICIONES Y ANALISIS DE RESULTADOS

3.1. Introducción

En el escenario a probar, inicialmente se tiene un sitio de celda CDMA (este opera en la banda A de PCS) el cual funciona como sitio de celda donador para un repetidor de banda ancha (15 Mhz). El sitio repetidor da cobertura CDMA a un determinado poblado. Seguidamente se activa un sitio de celda GSM (operando en la parte restante de la banda A de PCS) en el mismo lugar donde se encuentra el sitio celda CDMA. Entonces ahora el sitio de celda CDMA y el sitio de celda GSM son sitios de celda donadores del repetidor. Por consiguiente el repetidor proporciona cobertura CDMA y GSM en dicho poblado.

3.2. Configuraciones de sitios celda y el sitio repetidor

Las configuraciones de los sitios de celda CDMA y GSM se muestra en la siguiente tabla:

Tabla II. Configuraciones de sitios de celda CDMA y GSM

SECTORES	ALTURA	DOWN TILT	ORIENTACIÓN
1	60m	2°	80°
2	60m	3°	150°
3	60m	3°	215°

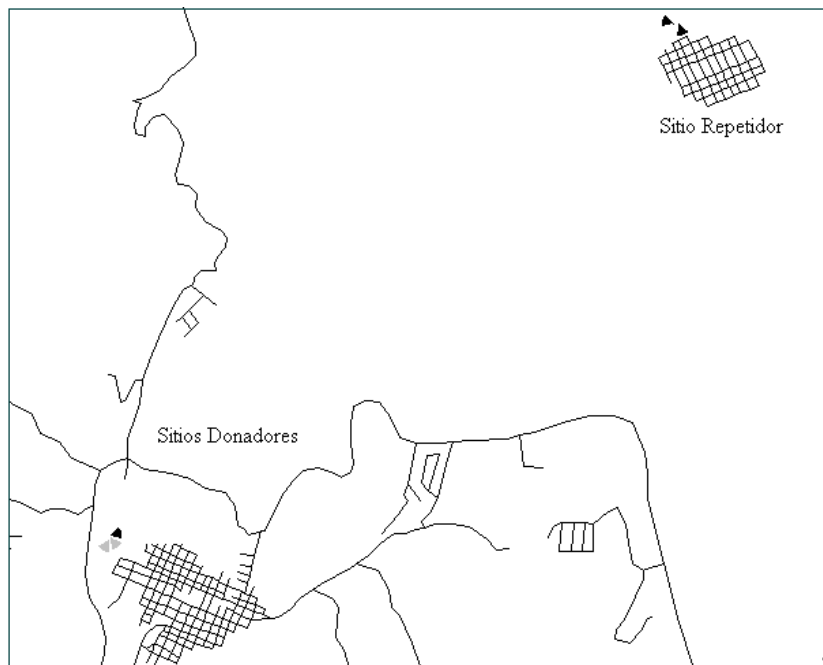
La configuración del sitio repetidor se muestra en la siguiente tabla:

Tabla III. Configuración del sitio repetidor.

SECTORES	ALTURA	DOWN TILT	ORIENTACION
1	45m	2°	160°
2	45m	3°	285°
Antena Donadora	60m	-2°	220°

La distribución de los sitios de celda CDMA/GSM y el sitio repetidor se muestran en la siguiente figura, cabe señalar que existe línea vista entre la antena donadora del sitio repetidor y los sectores donadores de CDMA y GSM.

Figura 27. Configuración de sitios donadores y sitio repetidor

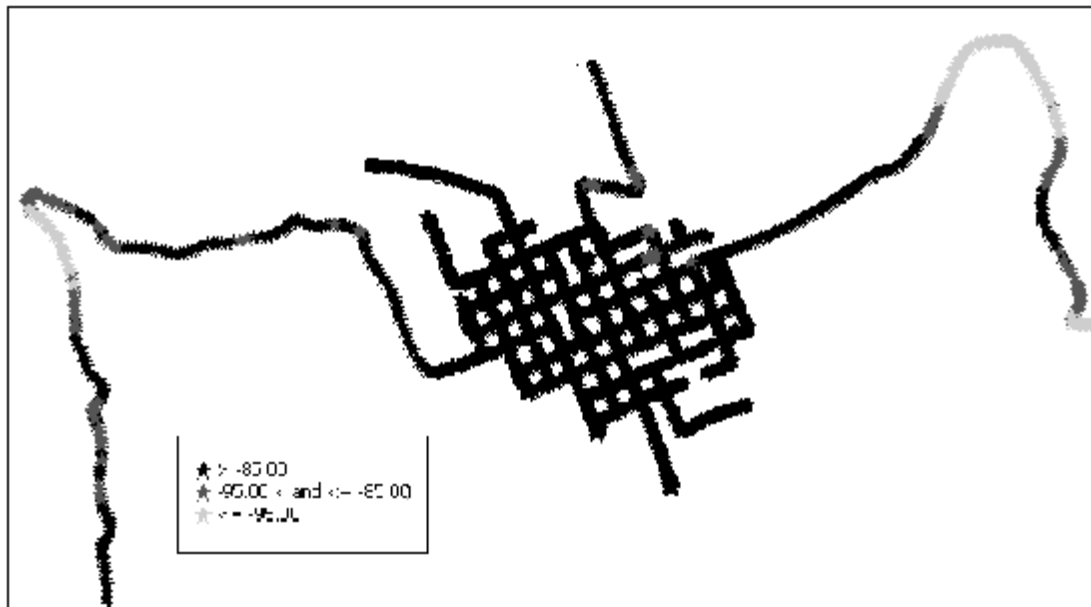


3.3. Medición y análisis de cobertura CDMA del repetidor operando en CDMA

En la siguiente figura se muestra un drive test que define el nivel de la señal de recepción CDMA de la estación móvil cuando el repetidor opera solo en CDMA. En la mayoría de calles que conforman el pueblo se tiene excelentes niveles de señal por encima de los -85 dB, a excepción de algunas calles en el noreste de pueblo en donde los niveles oscilan de -85 dB a -95 dB. En la carretera de acceso al OESTE del pueblo se tiene cobertura arriba de los -95 dB en aproximadamente 1.5 Kms, seguidamente la señal de decae a valores menores a -95 dB por un intervalo 0.25 Kms, por ultimo el nivel señal se mantiene arriba de -95 dB por un intervalo de 1 Km. En la carretera acceso al ESTE del pueblo se tiene niveles señal arriba de -95 dB aproximadamente 0.7 Kms, después la señal desciende a niveles menores a -95 dB por un intervalo de 0.6 Kms, por ultimo el nivel señal se mantiene arriba de -95 dB por un intervalo 0.5 Kms.

Cabe señalar que la variación de señal que existe en las carreteras de acceso no es debido al funcionamiento del repetidor sino a la topografía del lugar ya que las carreteras de acceso están localizadas entre montaña. Notamos que no existe llamadas caídas, ni fallas de acceso durante el drive test. Por consiguiente podemos definir que el funcionamiento de repetidor es optimo, dando buena cobertura en exteriores e interiores en el pueblo para el uso de teléfono celular dentro de las viviendas y buena cobertura en gran parte de las carreteras de acceso para el uso del teléfono celular dentro de vehículos.

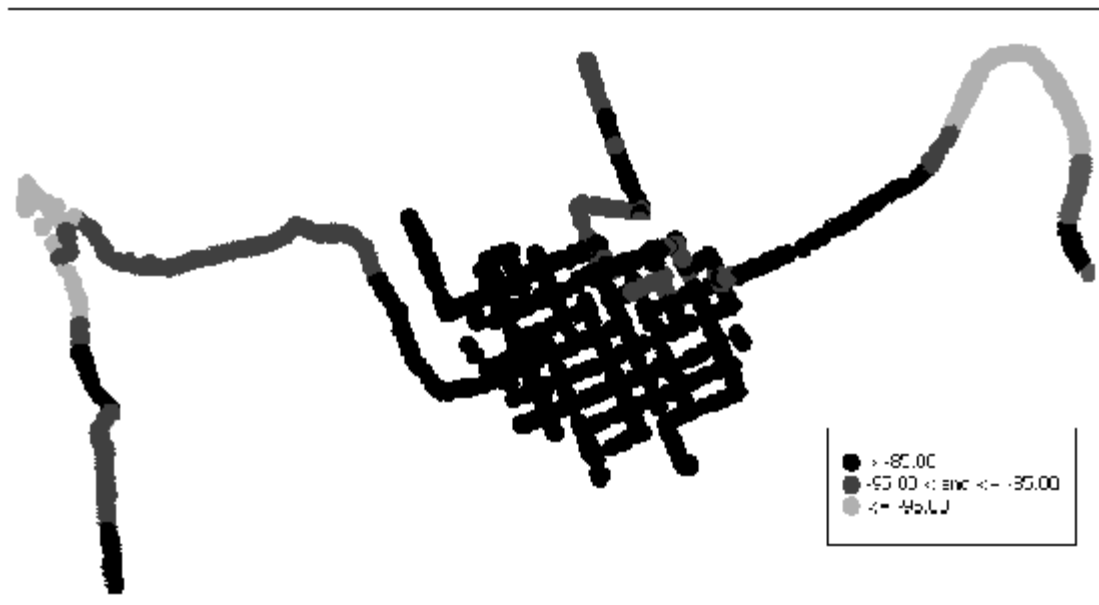
Figura 28. Potencia de recepción CDMA de la estación móvil (RX) cuando el repetidor opera solamente en CDMA



3.4. Medición y análisis de cobertura CDMA del repetidor operando en CDMA y GSM simultáneamente.

La siguiente figura muestra un drive test que representa el nivel de señal de recepción CDMA de la estación móvil cuando el repetidor funciona con CDMA Y GSM simultáneamente. Podemos observar que la mayor del pueblo posee niveles de señal mayores a -85 dB, excepto en el área noreste donde existen calles con niveles de señal que oscilan de -85 dB a -95 dB. La carretera de acceso oeste del pueblo posee niveles de señal arriba de -95 dB en aproximadamente 1.3 Kms, seguidamente se tiene niveles señal debajo de lo -95 dB en intervalo aproximadamente de 0.45 kms, finalmente señal mantiene arriba de -95 dB en aproximadamente 1 Km. La carretera de acceso al este del pueblo posee niveles de señal arriba de -95 dB en aproximadamente 0.7 kms, seguidamente se tiene niveles de señal por debajo de -95 dB en aproximadamente 0.7 kms, finalmente señal se mantiene arriba de -95 dB por un intervalo 0.4 kms.

Figura 29. Potencia de recepción CDMA de la estación móvil cuando el repetidor opera en CDMA y GSM simultáneamente



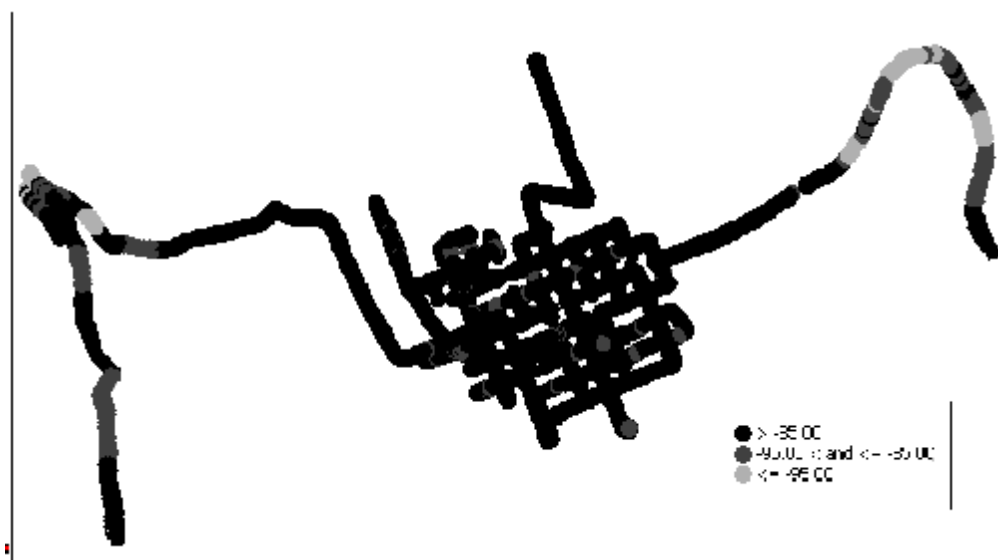
Observamos que después de la activación de la celda GSM los niveles de señal CDMA dentro del pueblo permanecieron similares a los existían antes de la activación de la celda GSM. El nivel de señal disminuyó de 3 a 4 dB en aproximadamente el 6 % de calles que conforman el pueblo. Las diferencias se marca al noreste del pueblo en donde en algunas calles el nivel de la señal disminuyó. En las carreteras de acceso los niveles de señal permanecieron similares al momento de la activación de la celda GSM. El 7% de los tramos de carretera de acceso sufrieron una disminución de señal de 3 dB. Solamente mostrándose una pequeña disminución de señal en la carretera de acceso al oeste del pueblo. Por consiguiente decimos que los niveles señal CDMA en el pueblo y carreteras de acceso no fueron afectados drásticamente al momento que se activo el sitio de celda GSM. La potencia total del repetidor destinada anteriormente para la señal CDMA ahora se distribuye entre la señal de CDMA y la señal de GSM.

Por lo tanto la potencia de salida en las antenas de servicio CDMA es menor al momento de la activación de la celda GSM y esto da como resultado la pequeña disminución de potencia de recepción en los en las estaciones móviles CDMA.

3.5. Medición y análisis de cobertura GSM del repetidor operando en CDMA y GSM simultáneamente.

En la siguiente figura observamos un drive test GSM el cual muestra el nivel de recepción de señal GSM. Observamos que la mayor parte del pueblo posee niveles de señal arriba de -85 dB, excepto en pequeños intervalos donde la señal varía de -85 dB a -95 dB. La carretera de acceso oeste del pueblo casi en su totalidad posee niveles arriba de -95 dB, excepto en dos pequeños tramos de 0.1 Kms. en donde la señal tiene valores por debajo de -95 dB. En la carretera de acceso al este del pueblo la señal posee niveles arriba de -85 dB por un intervalo de 0.5 Kms., seguidamente los niveles de señal varían arriba y debajo de -95 dB por un intervalo de 1.3 Kms.

Figura 30. Potencia de recepción GSM de la estación móvil cuando el repetidor opera en CDMA y GSM simultáneamente



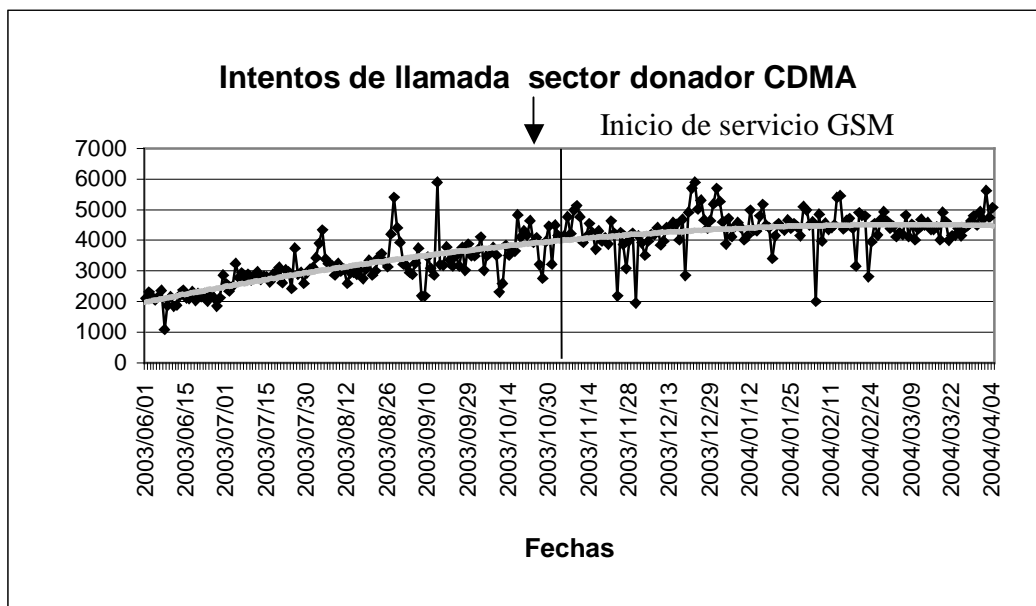
Con lo anterior observamos que los niveles de señal GSM dentro del pueblo son buenos, y que los niveles de señal en las carreteras de acceso son aceptables. Con los resultados anteriores y el hecho de que no existan llamadas caídas ni fallas de acceso durante el drive test decimos que el repetidor expande la cobertura del sector donador GSM satisfactoriamente.

3.6. Análisis del desempeño del sector donador CDMA

Las siguientes graficas nos representan el desempeño del sector donador CDMA antes y después de la activación del sitio de GSM. La línea vertical al centro de las graficas nos representa la fecha de activación de la celda GSM. Por lo tanto los datos a la izquierda representan el comportamiento de sector donador CDMA durante cuatro meses en donde el repetidor proporcionaba solamente cobertura CDMA y los datos a la derecha representan el comportamiento del sector donador CDMA durante cuatro meses en donde el repetidor proporcionaba cobertura CDMA y GSM simultáneamente.

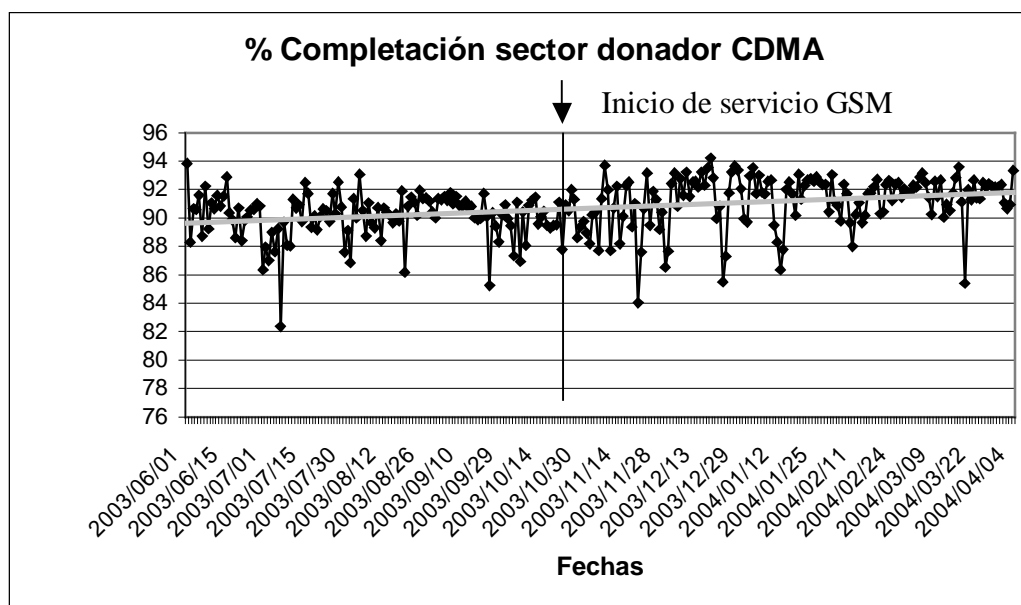
La siguiente grafica representa el número de intentos de llamada a través del sector donador CDMA. Observamos que antes de la activación de la celda GSM, se tenía cierta tendencia de crecimiento del numero intentos de llamada, con la activación de la celda GSM la tendencia crecimiento se mantuvo pero ya no fue tan significativa. Esto en gran parte fue debido a que el mismo operador es quien incorpora el servicio GSM, por lo tanto posibles usuarios CDMA se convirtieron en usuarios GSM provocando que el crecimiento de intentos llamadas en el sector donador CDMA no fuera tan significativo.

Figura 31. Intentos de llamada del sector donador CDMA



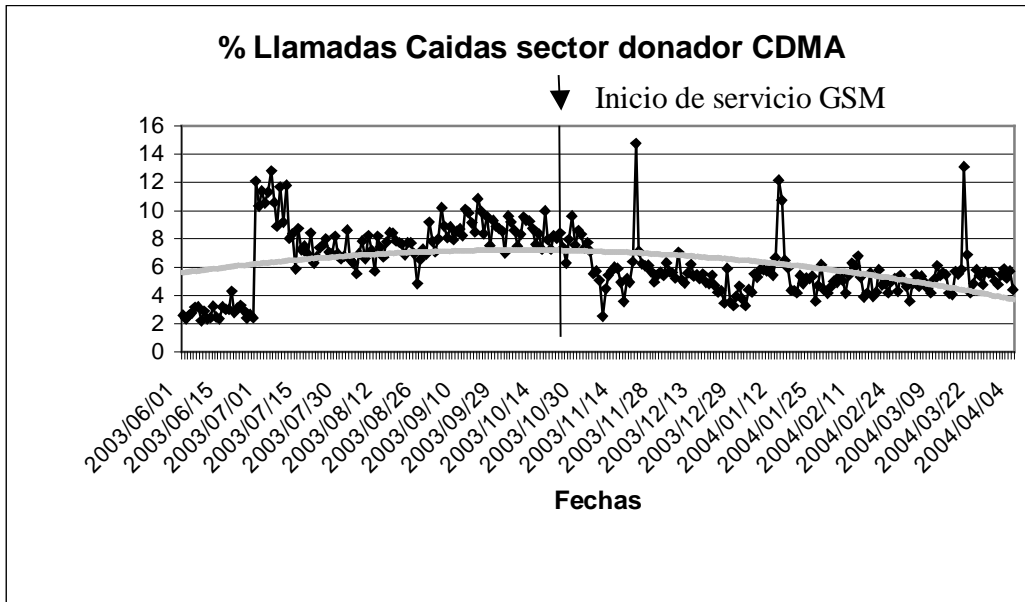
La siguiente grafica representa el porcentaje de completación (llamadas con éxito). Observamos que antes de la activación de la celda GSM el porcentaje de completación en promedio era del 91% después de la activación aumento a un 92%. Con lo cual podemos ver un mejor desempeño del repetidor en CDMA al momento de la activación de la celda GSM. Esto fue debido a que con la activación de la celda GSM la potencia de entrada al repetidor cambio (aumento) por consiguiente la configuración de ganancias también (ganancias de uplink y downlink disminuyeron). La disminución de ganancias esencialmente en uplink provoca la disminución de la figura de ruido del repetidor y por consiguiente el mejor desempeño del sector donador.

Figura 32. Porcentaje de completación del sector donador CDMA



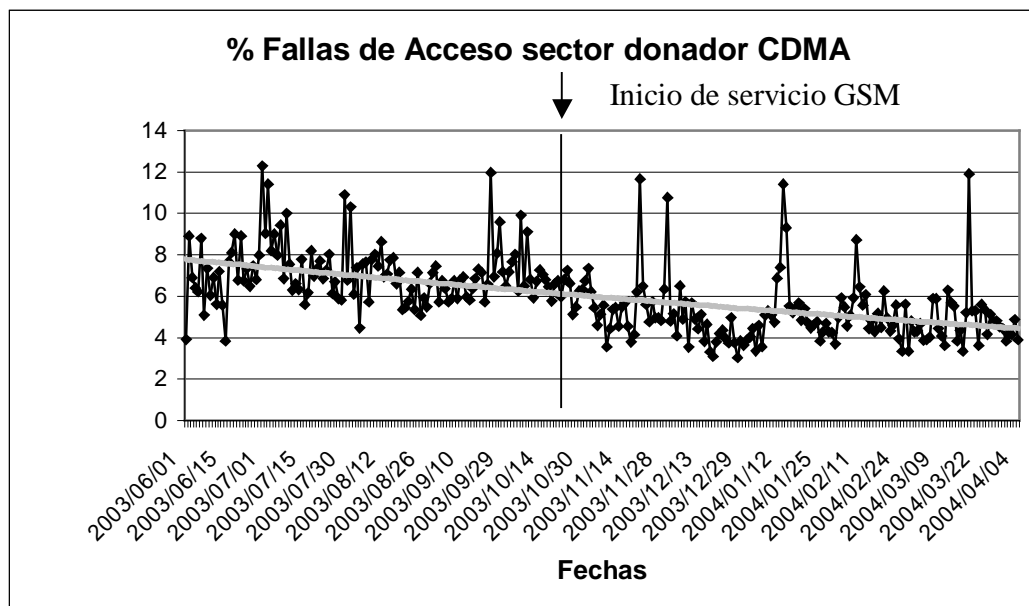
La siguiente grafica representa el porcentaje de llamadas caídas del sector donador CDMA. Observamos que el porcentaje de caídas de llamada en promedio antes de la activación de la celda GSM era del 8% después de la activación disminuyo a un 5%. Con la activación de la celda GSM se realizo un reajuste de los valores de ganancias del repetidor. Estos valores disminuyeron dando como resultado la disminución de la figura de ruido del repetidor y añadido al proceso de optimización que se realizo en el sitio repetidor al momento de la activación de la celda GSM da como resultado la disminución de llamadas caídas en el sector donador.

Figura 33. Porcentaje de caídas de llamada del sector donador CDMA



La siguiente grafica representa el porcentaje de fallas de acceso del sector donador CDMA. Observamos que el porcentaje fallas de acceso antes de la activación de la celda GSM era en promedio de 7%, después de la activación el porcentaje disminuyo a un 5%. Debido a la topografía del lugar (montañoso) la mayoría de fallas de acceso se producen al borde de la cobertura del repetidor. Al momento de la activación de la celda GSM la potencia de salida de la señal CDMA disminuyo, dando como resultado que no exista cobertura en lugares donde se tenía niveles de señal deficientes y por consiguiente disminuyan las fallas de acceso.

Figura 34. Porcentaje de fallas de acceso del sector donador CDMA



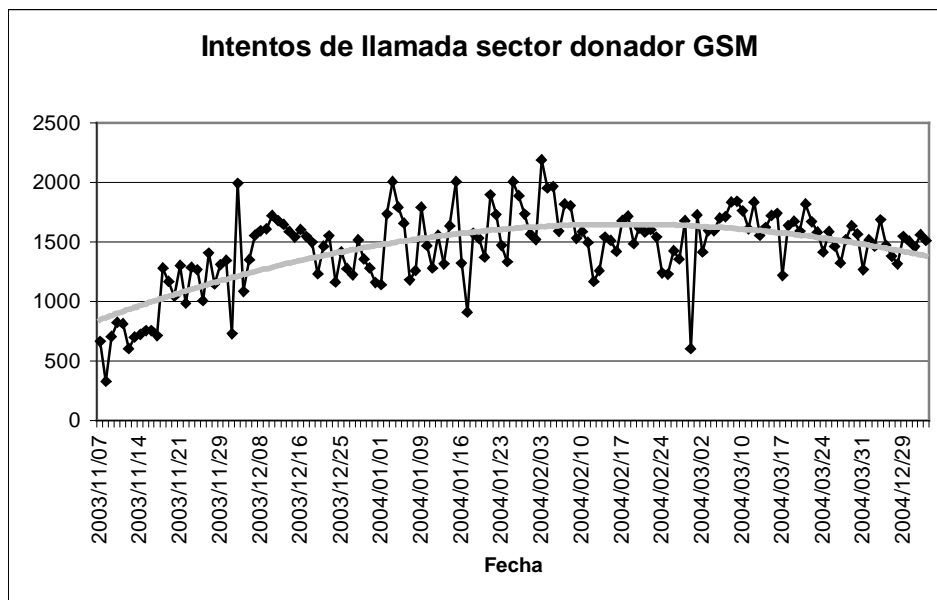
Finalmente decimos que el desempeño sector CDMA no se degrada al momento que el repetidor comienza a funcionar con CDMA y GSM simultáneamente.

3.7. Análisis del desempeño del sector donador GSM

Las siguientes graficas nos representan el desempeño del sector donador GSM durante cuatro meses después de su activación. Cabe señalar que cuando se activa la celda de GSM simultáneamente se convierte en sitio donador del repetidor.

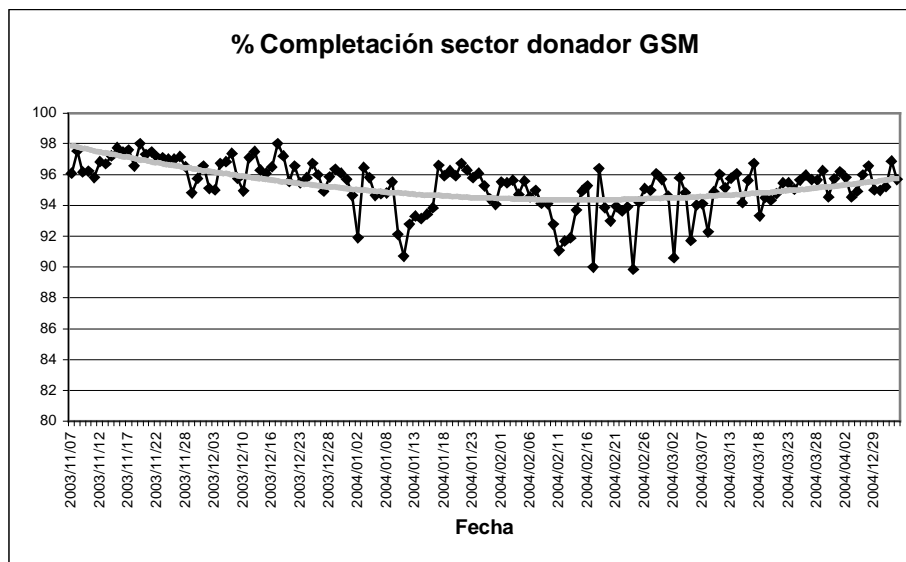
La siguiente grafica representa el numero de intentos de llamada a través del sector donador GSM. Observamos que al momento de la activación se tiene en promedio 750 intentos de llamada diarios, cuatro meses después el numero de intentos llamada diarios en promedio es de 1500. Entonces decimos que el numero de intentos de llamada aumento en un 100% cuatro meses después.

Figura 35. Intentos de llamada del sector donador GSM



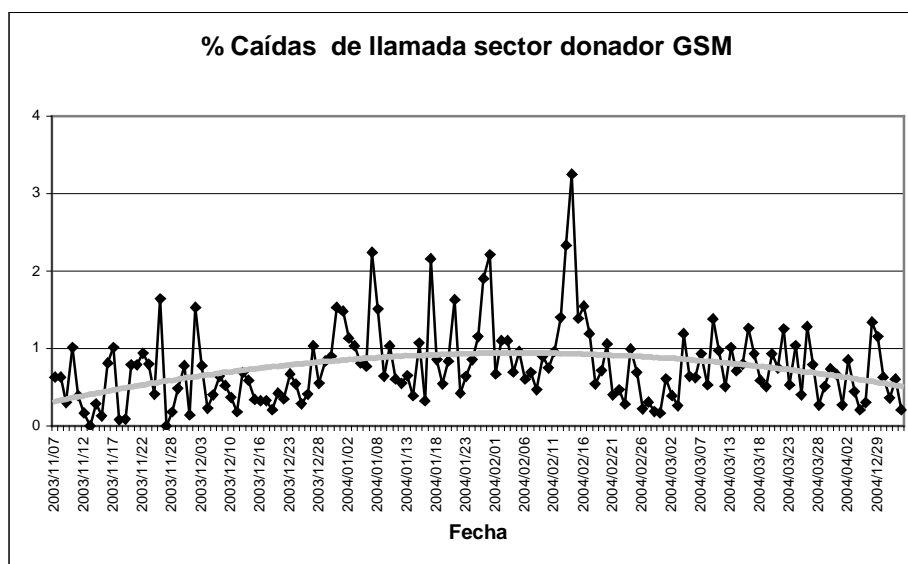
La siguiente grafica representa el porcentaje completación del sector donador GSM. Observamos que el porcentaje de completación promedio durante todo el periodo fue de aproximadamente 94%. Además el porcentaje de completación no disminuye del 90%.

Figura 36. Porcentaje de completación del sector donador GSM.



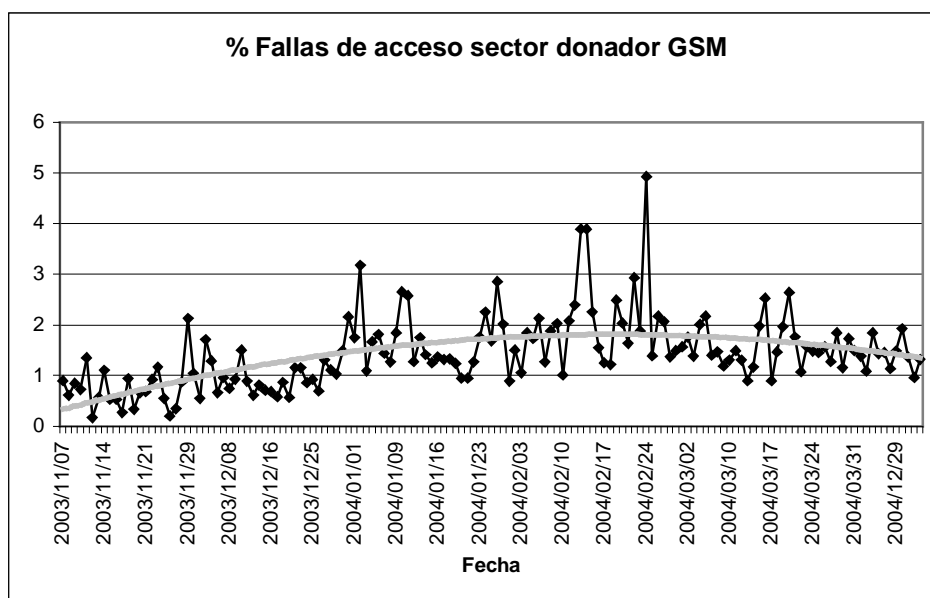
La siguiente grafica representa el porcentaje de caída de llamadas del sector donador GSM. Observamos que el porcentaje de caída de llamadas no sobrepasa el 5%.

Figura 37. Porcentaje de caídas de llamada sector donador GSM



La siguiente representa el porcentaje de fallas de acceso del sector donador GSM. Observamos que el porcentaje de fallas de acceso no sobrepasa el 5%.

Figura 38. Porcentaje de fallas de acceso del sector donador GSM



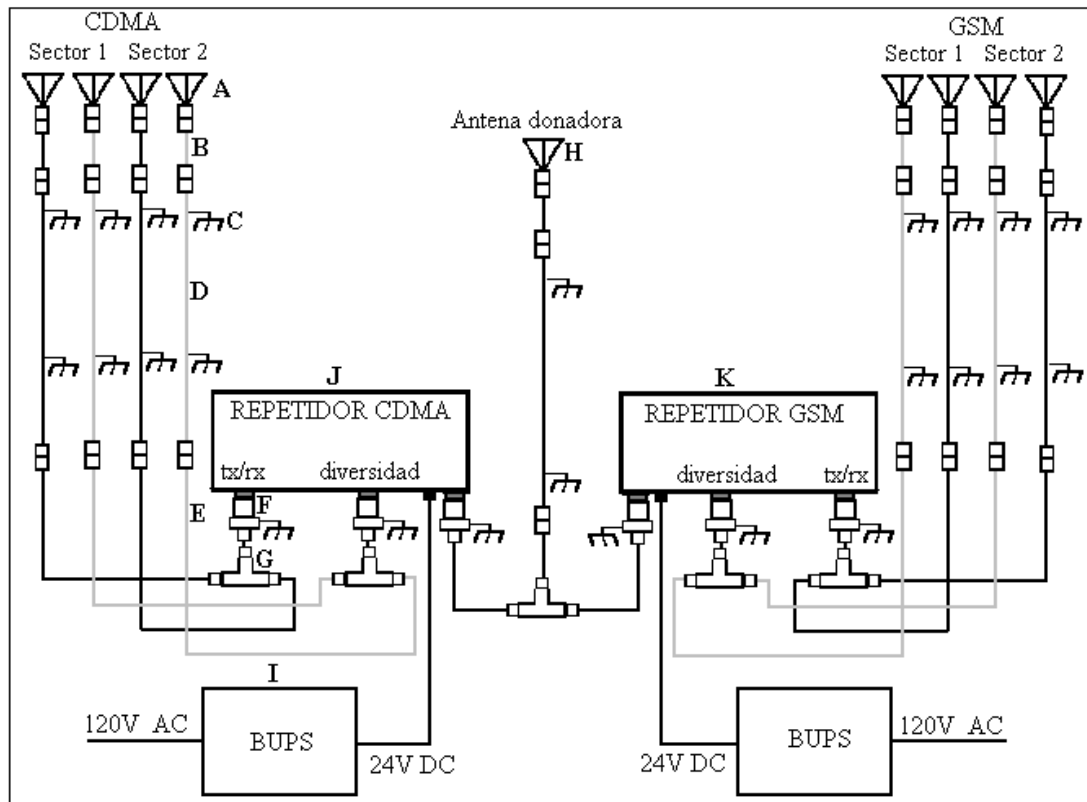
Durante el periodo de cuatro meses observamos que porcentaje de completación es alto, el porcentaje de caídas de llamada y fallas de acceso son bajos. Por lo tanto el desempeño del sector donador GSM es bueno cuando el repetidor opera en CDMA y GSM simultáneamente.

4. ANÁLISIS ECONOMICO-FINANCIERO

4.1. Configuración de dos repetidores CDMA y GSM.

La configuración del uso de dos repetidores para dar cobertura CDMA Y GSM se muestra en la siguiente figura. En este caso se utiliza un equipo repetidor para CDMA cuyo ancho de banda debe estar ubicado en la parte del espectro utilizado por la red CDMA y otro para GSM cuyo ancho de banda debe estar ubicado en la parte del espectro utilizado por la red GSM. Los repetidores utilizados son de un canal por lo cual se utilizan derivadores (splitter) para distribuir la potencia del canal en dos sectores. La señal proveniente del sector donador captada por la antena donadora se divide en dos para proporcionar de señal de entrada a ambos repetidores. Se utilizan dos sistemas radiantes uno para repetidor CDMA y otro para repetidor GSM, los cuales tienen las mismas características. Además se utiliza dos unidades de respaldo de energía uno para cada repetidor.

Figura 39. Uso de dos repetidores para proporcionar cobertura CDMA y GSM



En la siguiente tabla se muestra detalladamente los costos asociados al utilizar la configuración anterior.

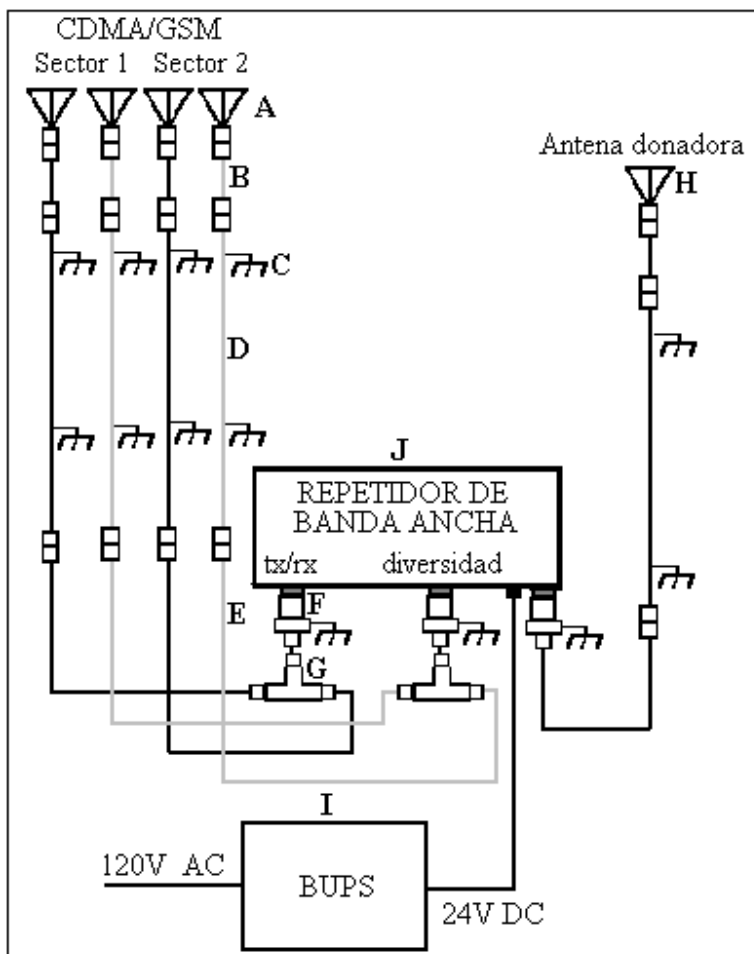
Tabla IV. Costo de utilizar dos repetidores para proporcionar cobertura CDMA/GSM

Identificación	Equipo	Cantidad	Costo (USD)
A	Antena simple tipo panel. Apertura horizontal 65°, apertura vertical 5°, ganancia 19 dbi.	8	2,872.00
B	Jumper superior. 3m de cable heliax de ½" con sus respectivos conectores.	9	303.48
C	Kit de aterrizaje para cable heliax de 1 5/8".	18	272.52
D	9 líneas de RF. 8 líneas de 45m y 1 línea de 60m. Están construidas con cable heliax de 1 5/8" con sus respectivos conectores.	9	4,509.60
E	Jumper Inferior. 3m de cable heliax de ½" con sus respectivos conectores.	11	293.44
F	Supresores de RF con sus respectivos kit de aterrizaje.	6	495.09
G	Derivador de RF 50%-50% (spliter de -3dB).	5	625.00
H	Antena parabólica. Apertura horizontal 15 °, apertura vertical 3°, ganancia 24 dbi.	1	2,500.00
I	Unidad de respaldo de energía. Capacidad de 25 amperios. Tiempo de respaldo 2 horas.	2	3,600.00
J	Repetidor CDMA. 1X10W	1	14,000.00
K	Repetidor GSM. 1X10W	1	14,000.00
	Kit de cinta para vulcanizar y aislar.	10	143.28
	Sujetadores de líneas de RF de 1 5/8". Distribuidos a lo largo de la guía separados por un 1 metro.	420	826.56
	Sujetador angular para líneas de RF	18	47.13
	Instalación y activación del equipo	-----	6,000.00
	TOTAL		50,488.10

4.2. Configuración de un repetidor CDMA y GSM.

La configuración del uso de un repetidor de banda ancha para proporcionar cobertura CDMA y GSM se muestra en la siguiente figura. Se utiliza un repetidor de banda ancha cuyo ancho de banda debe abarcar la parte espectro utilizado por la red CDMA y la GSM, este repetidor es de un solo canal por lo cual es necesario utilizar un derivador (splitter) para proporcionar potencia a los dos sectores. El mismo sistema radiante es utilizado para dar cobertura CDMA y GSM. Además se utiliza una unidad de respaldo de energía.

Figura 40. Uso de un repetidor de banda ancha para proporcionar cobertura CDMA y GSM simultáneamente.



En la siguiente tabla se muestra en detalle el costo de utilizar la configuración anterior.

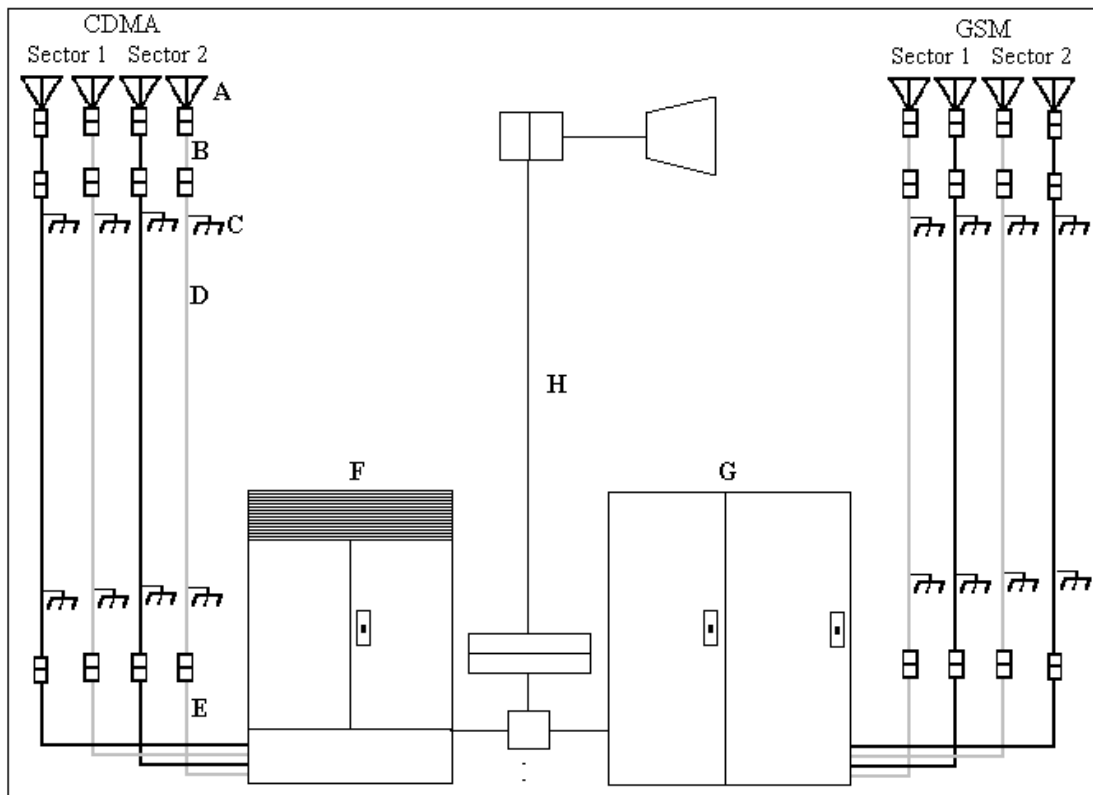
Tabla V. Costo de utilizar un repetidor de banda ancha para proporcionar cobertura CDMA/GSM

Identificación	Equipo	Cantidad	Costo (USD)
A	Antena simple tipo panel. Apertura horizontal 65°, apertura vertical 5°, ganancia 19 dbi.	4	1,440.00
B	Jumper superior. 3m de cable heliax de ½ con sus respectivos conectores.	5	168.60
C	Kit de aterrizaje para cable heliax de 1 5/8".	10	151.40
D	5 líneas de RF. 4 líneas de 45 m y 1 línea de 60m. Están construidas con cable heliax de 1 5/8" con sus respectivos conectores.	5	2,562.20
E	Jumper Inferior. 3m de cable heliax de ½" con sus respectivos conectores.	5	137.05
F	Supresores de RF con sus respectivos kit de aterrizaje.	3	247.55
G	Derivador de RF 50%-50% (spliter de -3dB).	2	250.00
H	Antena parabólica. Apertura horizontal 15°, apertura vertical 5°, ganancia 24 dbi.	1	2,500.00
I	Unidad de respaldo de energía. Capacidad de 25 amp. Tiempo de respaldo 2 horas.	2	1,800.00
J	Repetidor de banda ancha 1X20	1	20,000.00
	Kit de cinta para vulcanizar y aislar.	5	71.65
	Sujetadores de líneas de RF de 1 5/8". Distribuidos a lo largo de la guía separados por un 1 metro.	240	472.32
	Sujetador angular para líneas de RF	10	26.18
	Instalación y activación del equipo.	----- ----	4,000.00
	TOTAL		33,826.95

4.3. Configuración de dos BTS's CDMA y GSM

La configuración de dos BTS's para proporcionar cobertura CDMA y GSM se muestra en la siguiente figura. Utilizaremos una BTS para CDMA y otra para GSM con sistemas radiantes independientes. La BTS de GSM tiene dos radios por sector y la BTS de CDMA tiene equipo para una portadora. Cabe señalar que con esta configuración es de un sitio de celda y no de un sitio repetidor.

Figura 41. Uso de dos BTS's para proporcionar cobertura CDMA y GSM simultáneamente



En la siguiente tabla se muestra detalladamente costos asociados de utilizar la configuración anterior.

Tabla VI. Costo de utilizar dos BTS's para proporcionar cobertura CDMA/GSM.

Identificación	Equipo	Cantidad	Costo (USD)
A	Antena simple tipo panel. Apertura horizontal 65°, apertura vertical 5°, ganancia 19 dbi.	8	2,872.00
B	Jumper superior. 3m de cable heliax de ½" con sus respectivos conectores.	8	269.76
C	Kit de aterrizaje para cable heliax de 1 5/8".	16	242.24
D	8 líneas RF de 45 m Están construidas con cable heliax de 1 5/8" con sus respectivos conectores.	8	3,607.68
E	Jumper Inferior. 3m de cable heliax de ½" con sus respectivos conectores.	8	213.41
F	BTS de GSM de dos radios por sector.	1	35,000.00
G	BTS de CDMA con equipo para una portadora.	1	100,000.00
H	Equipo para enlace de microonda.	1	45,000.00
	Kit de cinta para vulcanizar y aislar.	10	143.28
	Sujetadores de líneas de RF de 1 5/8". Distribuidos a lo largo de la guía separados por un 1 metro.	360	708.48
	Sujetador angular para líneas de RF	16	41.89
	Instalación y activación de las BST's.	-----	10,000.00
	Instalación de equipo de Microonda	-----	2,500.00
	TOTAL		200,598.74

En la siguiente tabla se muestra la comparación de costos entre las tres configuraciones anteriores.

Tabla VII. Comparación de costos al utilizar dos repetidores, un repetidor de banda ancha y dos BTS's para proporcionar cobertura CDMA/GSM.

CONFIGURACIÓN	COSTO
Dos repetidores banda angosta CDMA y GSM	50,488.10
Un repetidor de banda ancha CDMA y GSM	33,826.95
Dos BTS's CDMA y GSM	200,598.74

Cabe señalar que en las tres configuraciones anteriores los precios son promedio, estos pueden variar dependiendo del proveedor del equipo. El costo de instalación y activación del equipo también puede variar dependiendo de lejanía del sitio repetidor o sitio celda.

Al observar la tabla anterior podemos ver que los costos totales (equipo, instalación y activación) se reducen en un 33% al utilizar un repetidor de banda ancha, en vez de utilizar dos repetidores independientes para proporcionar cobertura CDMA y GSM simultáneamente. Entonces podemos decir que el presupuesto utilizado para dos sitios repetidores en los cuales se utilicen dos repetidores (uno para CDMA y otro para GSM) alcanzaría para 3 sitios repetidores que utilicen repetidores de banda ancha. Con esta reducción de costos se puede dar cobertura a mas lugares con el mismo presupuesto. La mayor cobertura dará como resultado un numero mayor usuarios y por ende mayores ingresos.

También notamos que el costo de utilizar dos BTS's es de seis veces el costo de utilizar un repetidor de banda ancha. Entonces podemos decir que el presupuesto utilizado para un sitio celda CDMA/GSM alcanza para la instalación de 6 sitios repetidores de banda ancha que dará cobertura CDMA/GSM. Pero la capacidad que se tiene con las BTS's es mucho mayor a la que se obtiene por medio del repetidor, esto es debido a que la capacidad del repetidor depende de la capacidad que tenga el sector donador. Si se elige la opción de utilizar repetidores se debe tener en cuenta que cuando el numero de usuarios aumente en el área cobertura del repetidor y del sector donador, se puede llegar al punto que la capacidad del sector donador no sea suficiente y tengamos que cambiar los sitios repetidores por sitios de celda.

4.4. Retorno de inversión para un repetidor de banda ancha

4.4.1. Retorno de inversión del repetidor de banda ancha operando en CDMA

Como observamos en la siguiente grafica, seis meses antes de la activación del repetidor de banda ancha el crecimiento en el numero de llamadas con éxito por día en el sector donador CDMA era mínimo. Seis meses después de la activación del repetidor el numero de llamadas con éxito aumento aproximadamente en un 100%. Con lo cual decimos que después de los seis meses el repetidor maneja el 50% del total de llamadas que procesa el sector donador. Notamos también que después de los seis meses la red estabiliza y el crecimiento es pequeño.

De las estadísticas del sector donador CDMA definimos lo siguiente:

Promedio de llamadas con éxito por día en el sector donador en los seis meses antes de la activación de repetidor.

$$E_{\text{llamadas_donador_sin_repetidor}} = 1783 \text{ llamadas por día}$$

Promedio de llamadas con éxito por día en los seis meses después de la activación del repetidor.

$$E_{\text{llamadas_donador_con_repetidor}} = 3492 \text{ llamadas por día}$$

De lo anterior calculamos el promedio de llamadas con éxito al día que pasan por el repetidor.

$$E_{\text{llamadas_repetidor}} = E_{\text{llamadas_donador_con_repetidor}} - E_{\text{llamadas_donador_sin_repetidor}}$$

$$E_{\text{llamadas_repetidor}} = 3492 - 1783 = 1709 \text{ llamadas por día}$$

Asumiendo que la promedio de duración de llamada es de 2 minutos.

$$D_{\text{duración_llamada}} = 2 \text{ minutos}$$

Calculamos el promedio de minutos diarios cruzados por el repetidor.

$$M_{\text{minutos_repetidor}} = E_{\text{llamadas_repetidor}} * D_{\text{duración_llamada}}$$

$$M_{\text{minutos_repetidor}} = 1709 * 2 = 3418 \text{ minutos por día}$$

Asumiendo que el costo promedio por minuto es de 0.07 dólares.

$$C_{\text{costo_minuto}} = 0.07 \text{ dolares}$$

Calculamos el promedio del retorno de inversión diario del repetidor.

$$R_{\text{retorno_repetidor}} = M_{\text{minutos_repetidor}} * C_{\text{costo_minuto}}$$

$$R_{\text{retorno_repetidor}} = 3418 * 0.07 = 239.26 \text{ dólares por día}$$

Del costo total del repetidor de banda ancha

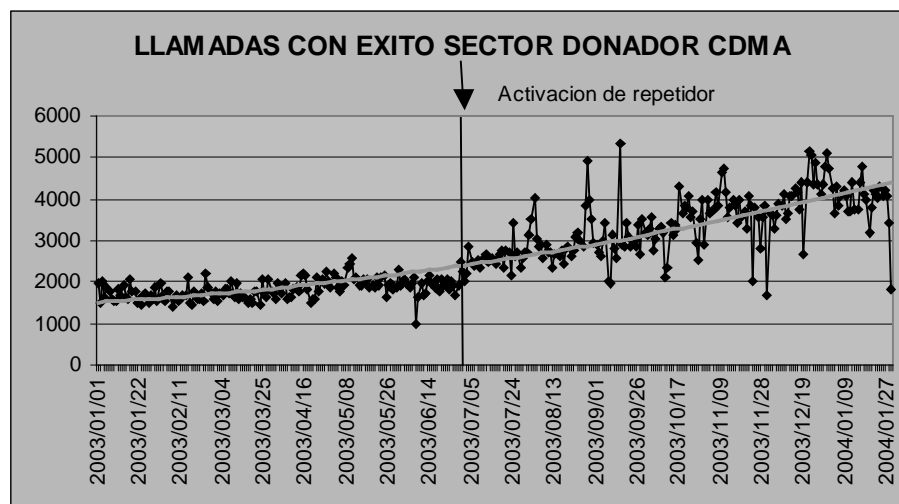
$$C_{\text{repetidor_banda ancha}} = 33,826.95$$

Calculamos el tiempo que se tarda en recuperar la inversión inicial.

$$T_{\text{recuperación_inversión}} = C_{\text{repetidor_banda ancha}} / R_{\text{retorno_repetidor}}$$

$$T_{\text{recuperación_inversión}} = 33,826.95 / 239.26 = 141 \text{ días}$$

Figura 42. Llamadas con éxito sector donador GSM



4.4.2. Retorno de inversión del repetidor de banda ancha operando en GSM

Cuando se activo el sitio de celda de GSM automáticamente el repetidor de banda ancha comenzó a funcionar en GSM. La siguiente figura representa el numero de intentos de llamada del sector donador GSM, no podemos determinar que cantidad de intentos llamada del sector donador pasa a través del repetidor y que cantidad de intentos de llamada del sector donador no pasa a través del repetidor. En CDMA se definió que el 50% de los intentos de llamada del sector donador CDMA cruzaban el repetidor. Como los sectores donadores CDMA y GSM tienen la misma cobertura y el repetidor operando en CDMA y GSM también tiene la misma cobertura podemos utilizar esto como base para GSM.

De la siguiente figura calculamos el promedio de llamadas con éxito por día del sector donador GSM.

$$E_{\text{llamadas_donador_con_repetidor}} = 1376 \text{ llamadas por día}$$

Asumimos que el 50% de las llamadas con éxito del sector donador pasan por el repetidor.

$$E_{\text{llamadas_repetidor}} = E_{\text{llamadas_donador_con_repetidor}} * 50$$

$$E_{\text{llamadas_repetidor}} = 1376 * 0.5 = 688 \text{ llamadas por día}$$

Asumiendo que la promedio de duración de llamada es de 2 minutos.

$$D_{\text{duración_llamada}} = 2 \text{ minutos}$$

Calculamos el promedio de minutos diarios cruzados por el repetidor.

$$M_{\text{minutos_repetidor}} = E_{\text{llamadas_repetidor}} * D_{\text{duración_llamada}}$$
$$M_{\text{minutos_repetidor}} = 688 * 2 = 1376 \text{ minutos por día}$$

Asumiendo que el costo promedio por minuto es de 0.07 dólares.

$$C_{\text{costo_minuto}} = 0.07 \text{ dolares}$$

Calculamos el promedio del retorno de inversión diario del repetidor.

$$R_{\text{retorno_repetidor}} = M_{\text{minutos_repetidor}} * C_{\text{costo_minuto}}$$
$$R_{\text{retorno_repetidor}} = 1376 * 0.07 = 96.32 \text{ dólares por día}$$

Del costo total del repetidor de banda ancha

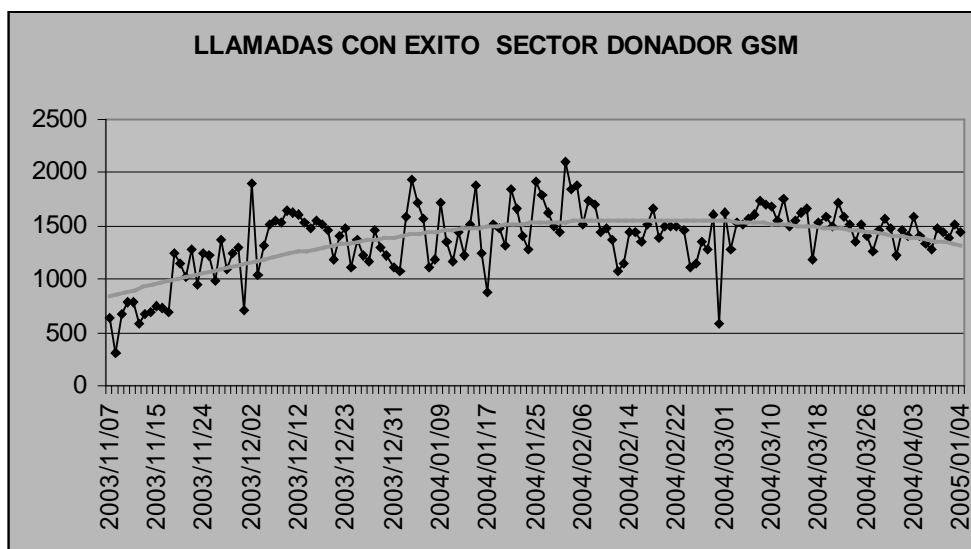
$$C_{\text{repetidor_banda ancha}} = 33,826.95$$

Calculamos el tiempo que se tarda en recuperar la inversión inicial.

$$T_{\text{recuperación_inversión}} = C_{\text{repetidor_banda ancha}} / R_{\text{retorno_repetidor}}$$
$$T_{\text{recuperación_inversión}} = 33,826.95 / 96.32 = 351 \text{ días}$$

El tiempo para recuperar la inversión en GSM es mayor que el tiempo para recuperar la inversión en CDMA. Esto es debido a que el repetidor maneja menos llamadas GSM diariamente. La menor cantidad de llamadas GSM es porque la red es relativamente nueva comparada con la de CDMA.

Figura 43. Llamadas con éxito sector donador GSM



4.4.3. Retorno de inversión del repetidor de banda ancha operando en CDMA y GSM.

Si al momento de la activación del repetidor de banda ancha ya están en funcionamiento los sitios de celda donadores de CDMA y GSM, para el calculo de retorno de inversión es necesario utilizar el total de minutos cruzados en el repetidor estos incluye los minutos en CDMA y los minutos en GSM.

Entonces tenemos el promedio de minutos CDMA cruzados en el repetidor.

$$M_{\text{minutos_repetidor}} = 3418 \text{ minutos por día}$$

Y el promedio de minutos GSM cruzados en el repetidor.

$$M_{\text{minutos_repetidor}} = 1376 \text{ minutos por día}$$

Calculamos el total de minutos cruzados en el repetidor.

$$M_{\text{minutos_repetidor_TOTAL}} = M_{\text{minutos_repetidor_CDMA}} + M_{\text{minutos_repetidor_GSM}}$$

$$M_{\text{minutos_repetidor_TOTAL}} = 3418 + 1376 = 4794 \text{ minutos por día}$$

Asumiendo que el costo promedio por minuto es de 0.07 dólares.

$$C_{\text{costo_minuto}} = 0.07 \text{ dolares}$$

Calculamos el promedio del retorno de inversión diario del repetidor.

$$R_{\text{retorno_repetidor}} = M_{\text{minutos_repetidor_total}} * C_{\text{costo_minuto}}$$

$$R_{\text{retorno_repetidor}} = 4794 * 0.07 = 335.58 \text{ dólares por día}$$

Del costo total del repetidor de banda ancha

$$C_{\text{repetidor_banda ancha}} = 33,826.95$$

Calculamos el tiempo que se tarda en recuperar la inversión inicial.

$$T_{\text{recuperación_inversión}} = C_{\text{repetidor_banda ancha}} / R_{\text{retorno_repetidor}}$$

$$T_{\text{recuperación_inversión}} = 33,826.95 / 335.58 = 101 \text{ días}$$

Cabe señalar que este tiempo de retorno de inversión no incluye los costos de la torre, la compra o renta del terreno, obra civil del sitio de celda, permisos y mantenimiento del equipo. También este tiempo puede variar dependiendo en que etapa se encuentran las redes de CDMA y GSM, si son redes nuevas o son redes ya estables.

CONCLUSIONES

1. El sistema GSM utiliza una combinación de multiplexado por división tiempo (TDMA) y multiplexado por división de frecuencias (FDMA).
2. En un sistema CDMA todos los usuarios pueden utilizar el mismo canal de banda ancha para transmitir información, al mismo tiempo, no existe división de tiempo o frecuencia.
3. Un repetidor radiofrecuencia permite extender la cobertura de un sitio de celda a lugares donde no se puede tener acceso él.
4. Los repetidores se utilizan generalmente en poblados o carreteras donde se tiene bajos niveles de recepción y cuya densidad poblacional es media o baja, para evitar un excesivo de trafico sobre el sector donador.
5. En un sitio repetidor de toma por aire el aislamiento entre la antena donadora y las antenas de servicio debe ser de por lo menos 15 dB mayor a la ganancia configurada en el repetidor de lo contrario el repetidor oscilara, manifestándose como variaciones fuertes en amplitud y fase y distorsiones de señal.
6. Un repetidor de banda ancha puede funcionar simultáneamente en dos redes CDMA y GSM, proporcionando buena cobertura en ambas redes.
7. Cuando un repetidor de banda ancha opera simultáneamente en dos redes CDMA y GSM, los sectores donadores en ambas redes muestran un buen desempeño.

8. El costo de utilizar un repetidor de banda ancha para proporcionar cobertura CDMA y GSM es menor que cuando se utiliza dos repetidores independientes uno para CDMA y otro para GSM.

RECOMENDACIONES

1. Utilizar repetidores de radiofrecuencias en carreteras o poblados en donde se tiene bajos niveles de recepción y cuya densidad poblacional es media o baja.
2. Utilizar repetidores de fibra en lugares en donde no existe línea vista entre el sitio donador y el sitio repetidor.
3. Cuando se instale un repetidor de toma por aire procurar que la distancia entre la antena donadora y las antenas de servicio sean lo mas grande posible, para evitar problemas de bajo aislamiento que pueda afectar el buen desempeño del repetidor.
4. Cuando se incorpora repetidores de radiofrecuencia a una red, utilizar repetidores de banda ancha, para que futuras ampliaciones en el sitio donador se reflejen instantáneamente en el repetidor y no tener necesidad de hacer cambios en el equipo.
5. Utilizar repetidores de banda ancha para que funcionen simultáneamente en dos redes (CDMA y GSM) que compartan la misma banda de frecuencias, para obtener los beneficios presentados en el transcurso de este trabajo de graduación.

BIBLIOGRAFÍA

1. EMS Wireless. **Instalacion Manual, MirrorCell II Repeater, Model CDM1912.** USA: s.e., 2001. 37pp.
2. Huidobro Moya, Jose Manuel. **Comunicaciones Móviles.** España: Editorial Paraninfo, 2002. 435pp.
3. Il Kim, Kyoung. **Handbook of CDMA System Design, Engineering, and Optimization.** USA: Editorial Printice Hall PTR, 2000. 252pp.
4. Muñoz Rodríguez, David. **Sistemas Inalámbricos de Comunicación Personal.** México: Editorial Alfaomega, 2002. 337pp.
5. Nortel Networks. **Curso 809, Teoría de CDMA y diseño/función de productos de Nortel networks.** 2.4.1 edición. Canada: s.e., 2000. 597pp.
6. Qualcomm. **Relating Search Windows Sizes to Fiber Delay in a Repeater.** USA: s.e., 2003. 15pp.
7. Qualcomm. **Repeater for Indoor Coverage in CDMA Networks.** USA: s.e., 2003. 17pp.
8. Repeater Technologies. **RC 1x10 DD Over-the Air CDMA Network Repeater.** USA.
9. Repeater Technologies. **Reference Manual, RC19-1X10 Repeater, RC19-2X10 Repeater.** USA: s.e., 2002. 142pp.
10. Repeater Technologies. **Repeater Design Process.** USA. 25pp.
11. Tisal, Joachim. **La Red GSM.** España: Editorial Spain Paraninfo, S.A., 2000.184pp.
12. Yang, Samuel. **CDMA RF System Engineering.** USA: Editorial Artech House, Inc., 1998. 280pp.