



UNIVERSIDAD CENTRAL "MARTA ABREU" DE LAS VILLAS
VERITATE SOLA NOBIS IMPONETUR VIRILISTOGA. 1948

Departamento de Electrónica y Telecomunicaciones

TRABAJO DE DIPLOMA

***“Consideraciones de diseño para
Subsistemas de estaciones base en
entornos GSM”***

Autor: Ronnie Bertrand Terrison Jemmott

Julio Cesar Ventosa Almeida

Tutor: MSc. Hector Cruz Enríquez

Santa Clara

Curso 2004 – 2005

“AÑO DE LA ALTERNATIVA BOLIVARIANA PARA LAS AMÉRICAS”



UNIVERSIDAD CENTRAL “Marta Abreu” DE LAS VILLAS
FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA
Departamento de Electrónica y Telecomunicaciones



TRABAJO DE DIPLOMA

***“Consideraciones de diseño para
Subsistemas de estaciones base en
entornos GSM”***

Autor: Ronnie Bertrand Terrison Jemmott
e-mail: chmpsnd@yahoo.co.uk

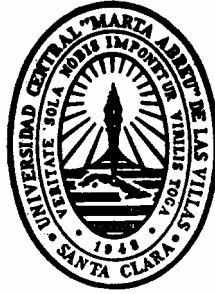
Julio Cesar Ventosa Almeida
e-mail: ventosa_73@yahoo.com

Tutor: MSc. Hector Cruz Enríquez.
e-mail: hacruz@uclv.edu.cu

Santa Clara

Curso 2004 – 2005

“AÑO DEL 45 ANIVERSARIO DEL TRIUNFO DE LA REVOLUCIÓN”



Hago constar que el presente trabajo de diploma fue realizado en la Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas como parte de la culminación de estudios de la especialidad de Ingeniería en Telecomunicaciones y Electrónica autorizando a que el mismo sea utilizado por la Institución, para los fines que estime conveniente, tanto de forma parcial como total y que además no podrá ser presentado en eventos, ni publicados sin autorización de la Universidad.

Firma del Autor

Los abajo firmantes certificamos que el presente trabajo ha sido realizado según acuerdo de la dirección de nuestro centro y el mismo cumple con los requisitos que debe tener un trabajo de esta envergadura referido a la temática señalada.

Firma del Autor

Firma del Jefe de Departamento
donde se defiende el trabajo

Firma del Responsable de
Información Científico-Técnica

Pensamiento

*“Todos somos científicos cuando somos niños,
pero al crecer, solo algunos conservan un poco de
esa curiosidad que es la madre de la ciencia.”*

Juan Aguilar M.

Agradecimientos



AGRADECIMIENTOS

Deseamos agradecerles, en especial, a nuestros padres por la inmensa confianza que han depositado en nosotros, y con ellos a toda la familia, de la que tanto apoyo incondicional hemos recibido. A todos y cada uno de ellos, llegue el más cálido y sincero de los agradecimientos.

A nuestros amigos, que tan significativo papel desempeñaron en nuestra superación humana y en la realización de este trabajo, a los que todavía quedan y a los que ya se han ido, porque aún así, siguen presentes como el primer día. También a otros que aunque lejos saben que están en nuestros corazones, a todos ellos, por los tan especiales momentos compartidos y los que aún faltan.

A mi tutor, por ser más que profesor, un amigo...

Desde mi corazón a todos, porque aunque sus nombres no estén escritos aquí, si han quedado grabados en él.

Dedicatoria

DEDICATORIA

A quienes anteriormente correspondimos con los agradecimientos y a nuestros amores que de cerca y de lejos nos han apoyado en todo momento... A todos ellos dedico este, el fruto de nuestros esfuerzos.

A mis profesores, de quienes tanto apoyo incondicional he recibido, les obsequio, modestamente hoy, el resultado de sus dedicaciones.

A mi Universidad y al Centro de Estudio de Electrónica y Tecnología de la Información (CEETI), la que consideré mi hogar de estudios, a quienes debo los mejores amigos y los mejores años de nuestras vidas...

En fin, llegue a todos, mi más sincero homenaje...

Tarea Técnica

TAREA TÉCNICA

1. Realizar revisión bibliográfica sobre los sistemas GSM (Global System for Mobile Communications).
2. Hacer un estudio de los subsistemas de estaciones base en el sistema GSM.
3. Realizar una investigación en diferentes fuentes acreditadas: manuales, cursos, revistas e incluso por la Internet de las consideraciones que se toman en el mundo de la telefonía móvil para el diseño de una red GSM
4. Realizar una propuesta de las consideraciones a tomar o etapas a seguir para el diseño de una red.
5. Análisis de estas etapas a través de un caso de estudio.
6. Realización del informe final del proyecto de tesis.

Firma del Autor

Firma del Tutor

Síntesis

Síntesis

Este trabajo está dedicado básicamente a la creación de las consideraciones de diseño para los subsistemas de estaciones base en los sistemas GSM, pues existe una necesidad en el mundo de las comunicaciones, por el alto costo de estas tecnologías, de crear métodos o vías de diseño adecuadas que aseguren el funcionamiento óptimo de estas redes cuando estén a plena capacidad. Como objetivo se trazará realizar un estudio del Subsistema de estación base, el estudio de herramientas fiables para el análisis de la propagación, el dimensionamiento de la red y proponer los pasos a seguir para el diseño del subsistema de estaciones base. Se obtendrá como resultado más relevante de la investigación once consideraciones para el diseño que al cumplirse aseguran la fiabilidad de la red y se da un aporte a la necesidad y comprensión del uso de herramientas de computo como ayuda a la optimización y diseño de esta red pues aunque su costo es alto en corto tiempo se recupera la inversión al garantizar el correcto funcionamiento de la red con el mínimo de recursos.

Índice

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.....	1
.....	4
Capítulo 1.....	4
Global System for Mobile Communications.....	4
1.1 <i>Requisitos básicos del sistema y sus directrices.</i>	4
1.1.1 <i>Requisitos básicos.</i>	4
1.1.2 <i>Directrices que han orientado el desarrollo de las especificaciones.</i>	5
1.3 <i>Especificaciones básicas del sistema</i>	6
1.3 <i>Arquitectura del sistema GSM.</i>	9
1.5 <i>Subsistema de estación base (BSS)</i>	11
1.5 <i>Estructura física del sistema GSM</i>	16
1.6 <i>Interfaz radioeléctrico.</i>	17
.....	25
Capítulo 2.....	25
<i>Consideraciones de diseño en Subsistemas de Estaciones Base</i>	
<i>para entornos GSM</i>	25
2.1 <i>Seleccionar los proveedores y tipo de equipamiento.</i>	26
2.1.1 <i>Selección del equipamiento</i>	27
2.1.2 <i>Conteo de sitios y Controladores de estación base (BSC).</i>	33
2.2 <i>Pruebas de onda continua.</i>	34
2.3 <i>Ajuste con el modelo de propagación.</i>	35
2.4 <i>Rediseñar la red.</i>	36
2.5 <i>Adquisición de los sitios.</i>	37
2.6 <i>Adquisición de las hojas de datos.</i>	37
2.7 <i>Plan de frecuencias.</i>	38
<i>Reglamento para planificación de frecuencias.</i>	51
<i>Pasos o etapas para crear un plan de frecuencia.</i>	52
2.8 <i>Etapas de construcción y supervisión.</i>	52
2.9 <i>Realización de barridos de frecuencias.</i>	52
2.10 <i>Predicción de interferencia en la cobertura.</i>	53
2.11 <i>Optimización de la red.</i>	53
Capítulo 3.....	57
Caso de estudio	57
CONCLUSIONES.....	73
RECOMENDACIONES.....	75
REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA.....	75
Anexos	1

Introducción



INTRODUCCIÓN

A pesar de que la telefonía celular fue concebida estrictamente para la voz, la tecnología celular de hoy es capaz de brindar otros tipos de servicios, como datos, audio y video con algunas limitaciones.

Las tecnologías inalámbricas han tenido mucho auge y desarrollo en estos últimos años. Una de las que ha tenido un gran desarrollo ha sido la telefonía celular y desde sus inicios a finales de los 70, ha revolucionado enormemente las actividades que realizamos diariamente. Los teléfonos celulares se han convertido en una herramienta primordial para el usuario residencial y de negocios; las hace sentir más seguras y las hace más productivas. A pesar de que la telefonía celular fue concebida estrictamente para la voz, la tecnología celular de hoy es capaz de brindar otros tipos de servicios, como datos, audio y video con algunas limitaciones.

En ese sentido, hubo la necesidad de desarrollar e implantar otras técnicas de acceso al canal y transformar los sistemas analógicos en digitales, con el objeto de darles cabida a más usuarios. La telefonía celular se ha caracterizado por contar con diferentes generaciones las cuales se nombraron:

- Primera generación (1G):
 - ◊ Es completamente analógica, solo para voz y calidad de voz muy baja.
 - ◊ Baja velocidad de 2400 bauds.
 - ◊ Baja capacidad uso de FDMA (Frequency Division Multiple Access).
- Segunda generación (2G):
 - ◊ Completamente digital con protocolos de codificación más sofisticados.
 - ◊ Uso de CDMA (Code Division Multiple Access) y TDMA (Time Division Multiple Access).
 - ◊ Velocidades más altas de voz, pero limitados en la transmisión de datos.
 - ◊ Se pueden ofrecer servicios auxiliares, como datos, fax y SMS (Short Message Service).
 - ◊ La mayoría de los protocolos de 2G ofrecen diferentes niveles de encriptación.

- Generación 2.5 G:
 - ◊ Es completamente digital siendo una vía de paso hacia la tecnología 3G.
 - ◊ Es un sistema con más capacidades adicionales que los sistemas 2G.
- Tercera generación 3G:
 - ◊ Es completamente digital
 - ◊ Presenta convergencia de voz y datos con acceso inalámbrico a Internet.
 - ◊ Apta para aplicaciones multimedia y altas transmisiones de datos.
 - ◊ Alcanzarán velocidades de hasta 384 Kbps a 2Mbps en dependencia de la movilidad del usuario.

Partiendo de un análisis de estos sistemas celulares y debido a las inversiones que se han realizado en el país hacia esta tecnología, consideramos oportuno realizar un estudio del sistema de telefonía móvil celular (Global System for Mobile Communications) y de esta forma proponemos los siguientes objetivos:

1. Definir los diferentes elementos de una red GSM.
 - Conceptualización.
 - Clasificaciones y características.
 - Componentes y dispositivos que la conforman.
2. Realizar un procedimiento para el diseño de los sistemas GSM.
 - Etapas o pasos para realizar el diseño óptimo.
3. Análisis un caso de estudio

Estos objetivos se desarrollan a partir de las siguientes tareas técnicas:

1. Analizar la bibliografía referente al tema.
2. Estudiar la estructura y funcionamiento del sistema a diseñar.
3. Analizar los posibles procedimientos a proponer para el diseño.

Con el fin de lograr una correcta organización del trabajo que sirva de guía al lector en su estudio, se ha estructurado el mismo en tres capítulos.

El primero aborda de manera general el procedimiento para la realización del diseño de una red GSM, todos los conceptos a fines y como ha sido el devenir de esta especificación tecnológica en el mundo.

En el segundo capítulo se brinda un acercamiento al tema desarrollando cronológicamente y detalladamente las etapas de procedimiento que han de realizarse para un diseño óptimo.

Ya en el último se realiza un diseño para un caso de estudio en particular que ilustre la efectividad del procedimiento aquí propuesto.

Capítulo 1



Capítulo 1

Global System for Mobile Communications

En los sistemas de telefonía celular, han surgido varias tecnologías las cuales han desarrollado diferentes aplicaciones para satisfacer las necesidades de los clientes cada vez más creciente. Muchas de estas tecnologías han fracasado y otras han empezado a gobernar en el mundo, imponiéndose de manera sorprendente por las comodidades y las aplicaciones que estas prometen.

Una de estas tecnologías la cual a invadido el área de Europa y en la América es el sistema GSM (*Global System for Mobile Communications*) [1] [12] el cual constituye el interés principal de nuestro trabajo.

Este sistema como hemos visto anteriormente comenzó en la telefonía celular de segunda generación y ha llegado hasta la tercera generación con un aumento significativo del número de aplicaciones que él puede realizar.

1.1 Requisitos básicos del sistema y sus directrices.

Este sistema surgido en Europa tenía como objetivo ser capaz de dar servicio a un gran número de abonados con cobertura internacional y ser muy flexible en cuanto a los terminales; estando abierto a la interacción con las futuras redes avanzadas de telecomunicaciones.

1.1.1 Requisitos básicos.

Por este motivo, se definió para este sistema una serie de requisitos básicos entre los que cabe destacar los siguientes [2]:

- Capacidad total de seguimiento automático, tanto nacional como internacional.
- Número telefónico de abonado único.
- Gran capacidad de tráfico con una utilización del espectro optimizada.
- Mejoras en la calidad de servicio y mayores facilidades que en los sistemas actuales.

- Posibilidad de coexistencia con los sistemas actuales de primera generación en los mismos emplazamientos de estaciones bases.
- Posibilidad de interconexión con la RDSI (Red Digital de Servicios Integrados).
- Inclusión de servicios no telefónicos.
- Posibilidad de utilización de terminales de usuario de reducido tamaño, en especial aparatos portátiles de bolsillo.
- Terminales personalizables.
- Mejoras en la seguridad de transmisión de la voz.
- Mayor eficacia de las baterías de los portátiles.
- Utilización de los sistemas de señalización avanzados.
- Coste para el usuario no mayor que en los demás sistemas.

1.1.2 Directrices que han orientado el desarrollo de las especificaciones.

Cuando comenzaron los estudios para la creación de este sistema todo se centró para realizar una banda de frecuencias común y el desarrollo de especificaciones armonizadas para los interfaces entre unidades funcionales básicas del sistema en el futuro. A continuación se muestran las directrices que guiaron el desarrollo de las diferentes especificaciones [2] [12].

- Utilización de una banda común, reservada al GSM en todos los países participantes.
- Estructura celular digital.
- Sistema de acceso múltiple TDMA (*Time Division Multiple Access*) de banda estrecha.
- Algoritmo de codificación de fuente de pequeña velocidad de bits.
- Arquitectura OSI (*Open System Interconnection*).
- Señalización avanzada (CCITT núm. 7).

1.3 Especificaciones básicas del sistema

Bandas de frecuencias.

- Transmisión del móvil a la estación base 890-915 MHz (GSM900) y de 1710-1785 MHz (DCS-1800) [2].
- Transmisión de la estación base al móvil 935-960 MHz (GSM900) y de 1805-1880 MHz (DCS-1800) [2].

Separación dúplex.

Esta separación es el espaciamiento que existe en frecuencia entre el enlace directo y el inverso en el sistema GSM900 sería de 45MHz y en el DCS-1800 es de 75MHz [2].

Separación de canales.

Esta especificación es importante para los receptores móviles pues nos permite tener una atenuación de canal adyacente en el borde de la celda dentro del sistema igual a 18 dB teniendo correspondientes a los segundos y terceros un valor de 50 dB y 58 dB por lo menos. Esto se debe a la separación entre canales de 200KHz que presenta el sistema [2].

Modulación.

Esta es aplicable a muchos sistemas de transmisión pero cobra mayor importancia en los sistemas inalámbricos y por el impacto que tiene sobre el ancho de banda. La efectividad de la modulación medida con unidades de (b/s)/Hz se denomina Eficiencia Espectral. GSM utiliza una modulación 0,3 GMSK (*Gaussian Minimum Shift Keying*) con una tasa de 270,833 Kbit/s. GMSK es un tipo de modulación especial FM digital, donde los 1's y 0's se representan por medio de desplazamientos de +/- 67,708 KHz de la portadora de radiofrecuencia [3].

Relación de protección.

La relación de protección cocanal es $C/I = 9 \text{ dB}$ [2].

Frecuencia Doppler.

Velocidad máxima del móvil 200 Km. /h [2].

Pire máxima de la estación base.

500 W por portadora aunque esta es variable según la clase a la que pertenezca [2].

Potencia nominal de las estaciones móviles.

Hay diversos tipos de fabricantes con diferentes características y potencias que están entre los valores de 2 W, 5 W, 8 W y 20 W para GSM900 y de 0.8 W hasta 1 W para DSC-1800 [2].

Estructura celular y reutilización.

Esta estructura es sectorizada, de tipo 3/9 (3 celdas y 3 sectores por celda) o 4/12 en medios urbanos. En medios rurales las células son omnidireccionales y tienen un radio variable que pueden llegar hasta los 35 Km. y en el medio urbano tiene un radio máximo de hasta un kilómetro [2].

Acceso múltiple (TDMA).

Cada uno de los canales de radiofrecuencia esta dividido en intervalos de tiempo de unos 577 μ s (exactamente 15000/26 μ s, que es lo que se denomina razón de aspecto TDMA (*Time Division Multiple Access*) y es un parámetro fijado inicialmente en las especificaciones GSM).

Estos intervalos de tiempo están agrupados en conjuntos de ocho intervalos consecutivos formando la llamada trama.

Hay ocho canales físicos por cada canal de radiofrecuencia. Por tanto, para especificar un determinado canal físico habrá que indicar el canal de radiofrecuencia en el que está el canal físico, de los ocho posibles. La estructura de trama utilizada para cada canal físico es independiente de la de los demás. Esto quiere decir que cada uno de los ocho canales que

forman un canal de radiofrecuencia puede estar agrupado en un modelo diferente de multitrama.

En la transmisión de estas tramas y multitramas se producen errores debidos al desvanecimiento, estos errores evolucionan a una velocidad mucho menor que 270 Kbit/s (velocidad de transmisión del sistema GSM) y por tanto, los errores tienden a suceder en ráfagas. Los errores en el canal se distribuyen en períodos con una alta tasa de error seguidos de intervalos muy largos con tasas de error bajas. Para que el código corrector de errores trabaje adecuadamente los errores deben estar distribuidos más o menos uniformemente en el tiempo por lo que la reordenación y el interlineado son las vías en que esto es conseguido en el sistema GSM.

Los bloques de 456 bits codificados son reordenados e interlineados sobre ocho grupos multiplexados en el tiempo, bien sobre los cuatro pares, bien sobre los cuatro impares. Cada bloque de 456 bits codificados se divide en ocho partes (57 bits) que son entremezclados con los del bloque precedente o con los del posterior. A estos nuevos grupos de 114 (57+57) bits se les añade unos bits (1+1) que indican si los bits del enlace de voz de las partes pares o impares han sido sustituidos por datos del FACCH (*Fast Associated Control Channel*). Estos nuevos grupos de 116 (58+58) bits son los que forman los *burst* o ráfagas que se transmiten.

Canales de tráfico.

GSM distingue entre canales físicos (las ranuras de tiempo) y canales lógicos (la información portada por los canales físicos). Algunas ranuras de tiempo en una portadora constituyen un canal físico el cual es usado por diferentes canales lógicos para transferir información, tanto de señalización como del usuario. Existen dos tipos de canales lógicos en GSM: Los canales de tráfico (*TCH-Traffic Channels*), que transportan información (voz o datos) del usuario y los canales de control (*CCH-Control Channels*), que transportan señalización y sincronización entre la estación base y la estación móvil. Sus funciones y formas varían según el enlace (ver anexo I) [1].

1.3 Arquitectura del sistema GSM.

El sistema GSM está estructurado de la siguiente forma [2]:

- Entidades funcionales: que define las entidades que tienen a su cargo la ejecución de funciones definidas del sistema.
- Interfaces: establecen fronteras de repartición funcional y estas se dividen en:
 - ◊ Interfaz de línea: se denomina “A” separa el centro de conmutación (MSC) del subsistema de estación base (BSS).
 - ◊ Interfaz aérea o de radio “Um”: delimita la frontera entre la estación base (BS) y las estaciones móviles (MS).

La arquitectura funcional se observa en la figura 1.1 y los significados de las abreviaturas que aparecen en ella se las mostraremos a continuación:

AUC: Centro de autenticación.

BCF: Funciones de control de la estación base.

BSC: Controlador de la estación base.

BSS: Sistema de estación base.

BTS: Transceptor de estación base.

EIR: Registro de identidad de equipo.

HLR: Registro de abonados locales.

MS: Estación móvil.

MSC: Centro de conmutación de servicios móviles.

NMC: Centro de gestión de red.

OMC: Centro de operación y mantenimiento.

RDSI: Red digital de servicios integrados.

RPMT: Red pública móvil terrestre.

RTPC: Red telefónica pública con conmutación.

TRX: Transceptores.

VLR: Registro de visitantes.

SMS: Servicio de Mensajes cortos.

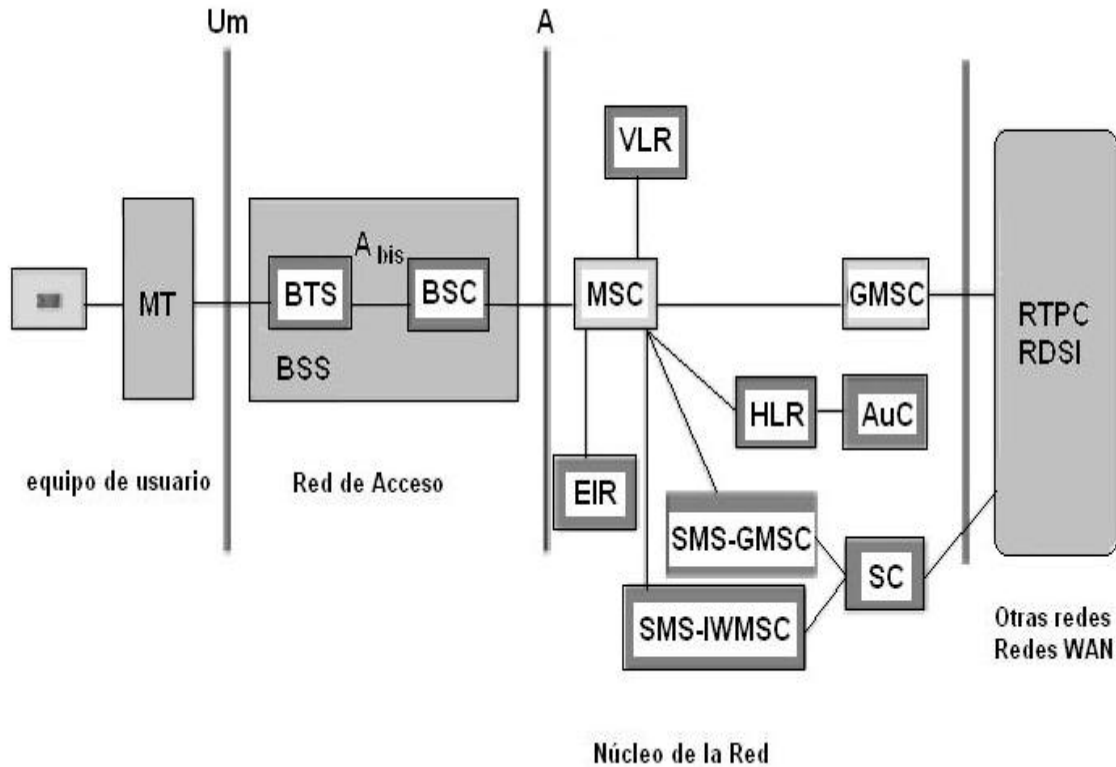


Figura 1.1 Arquitectura del sistema GSM.

En esta arquitectura presentada, el equipo terminal realiza algunas funciones semejantes a las de un terminal RDSI (Red Digital de Servicios Integrados). A continuación se muestra las funciones más representativas de un terminal GSM [12]:

- Transmisión radio.
- Gestión de canales de transmisión radio.
- Capacidad del terminal (interfaz usuario-terminal con ambiente amistoso).
- Codificación de voz.
- Protección de errores.
- Control del flujo de datos de usuario.
- Adaptación de velocidad de datos de usuario y velocidad del canal.
- Soporte de terminales múltiples.
- Gestión de movilidad.

Se debe mencionar que en la estación móvil no solo se encontrará el equipo terminal sino que también existe una parte denominada terminal móvil (TM) del cual existen tres tipos:

- TMO Realiza las funciones anteriormente mencionadas, sin incluir ningún interfaz.
- TM1 Incluye además una interfaz RDSI
- TM2 Incluye además interfaces CCITT series X y V.

Utilizando estos tres tipos de TM se pueden establecer las configuraciones necesarias para acceder al sistema GSM.

Una estación móvil puede además clasificarse en distintos tipos según varias características:

- Por su utilización.
 - ◇ Equipo móvil.
 - ◇ Equipo portátil.
 - ◇ Equipo transportable.
- Por la potencia de salida.
 - ◇ Clase 1 --- 20 W - Móvil y transportable.
 - ◇ Clase 2 ---8 W - Vehículo y transportable.
 - ◇ Clase 3 ---5 W – Portátil.
 - ◇ Clase 4 ---2 W –Portátil.
 - ◇ Clase 5 ---0.8 W – Portátil.

1.5 Subsistema de estación base (BSS)

Es la entidad responsable del establecimiento de las comunicaciones con las estaciones móviles que se encuentran dentro de su área de influencia. Esta área de influencia puede ser constituida por una o más células, cada una de ellas atendida por una estación base. Hay ocho clases de estaciones base en función de la potencia que van desde los 2.5 W a 320 W [12].

Este sistema de estación base está constituido por un controlador de estación base (BSC) del que dependen una o más estaciones base (BTS). Una estación base está constituida por un conjunto de transceptores (TRX) que cubren la misma área e incluye además de los transceptores un modulo que realiza la función de control común de estos transceptores (FCC).

Tomando como base esta estructura existen dos tipos de sistemas de estación base:

- El sistema de estación integrado: donde el controlador de estación base (BSC) y una estación base (BTS) están integrados en un mismo equipo.
- El sistema de estación base separado: donde el controlador de estación base (BSC) es una entidad distinta de las estaciones base (BTS), a las que se conecta mediante una interfaz normalizada, denominada interfase A-bis. Esta última estructura, es la más general.

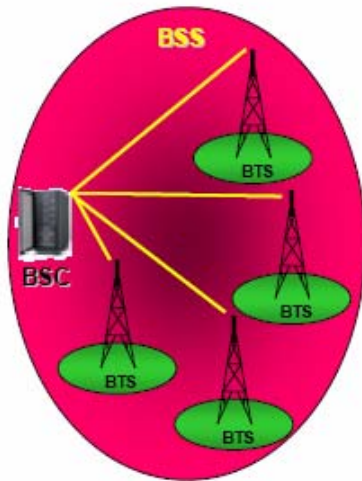


Figura 1.2 Subsistema de estación de base (BSS)

El transcodificador es un elemento que pertenece funcionalmente al Subsistema de estación base (BSS) pero que puede estar situado físicamente en la estación base, en el controlador de estación base (BSC) o externo al Subsistema de estación base (BSS) (junto a la central de conmutación móvil). La función del transcodificador es convertir la velocidad neta utilizada en los canales radio (inferior a 16 Kbit/s) a la velocidad normalmente utilizada en la red fija (que es de 64 Kbit/s).

Generalmente esta conversión no se realiza hasta el final para posibilitar que se puedan multiplexar cuatro canales de 16 Kbit/s en uno de 64 Kbit/s ahorrando capacidad de transmisión, en el interfaz entre la estación base (BTS) y el controlador de estación base (BSC) y en la interfaz entre el controlador de estación base (BSC) y la central de conmutación (interfaz A).

La interconexión del subsistema de estación base (BSS) con las demás entidades del sistema GSM se define utilizando un modelo basado en el modelo de interconexión de Sistemas Abiertos (OSI) recogido en las recomendaciones CCITT X200 y X210.

Dentro de cada capa están las entidades. Las entidades de distintos sistemas que pertenecen a la misma capa, pueden intercambiar información entre si.

Las entidades de un mismo sistema situadas en capas adyacentes interactúan entre ellas a través de su frontera común. De esta forma las capas inferiores prestan sus servicios a las capas superiores.

Todos los sistemas del subsistema de estación base (BSS): La interfaz radio, la interfaz A y la interfaz A-bis se han definido utilizando un modelo de tres capas:

- Capa 3.
- Capa 2 (enlace de datos).
- Capa 1 (capa física).

La capa 1 coincide con la capa inferior del modelo OSI (interconexión de Sistemas Abiertos), y soporta todas las funciones necesarias para la transmisión de una secuencia de bits sobre un canal establecido en un medio físico de transmisión.

La capa 2 es la capa de enlace de datos y tiene como misión permitir el intercambio de tramas de información entre dos entidades conectadas a través de un medio físico.

La capa 3 en realidad comprende las capas tres a siete del modelo OSI (interconexión de Sistemas Abiertos), llegando por lo tanto hasta definir la naturaleza de la comunicación requerida para satisfacer las necesidades de los usuarios de la comunicación.

Para definir totalmente la interconexión del sistema, además de esa estructura de capas es necesario también utilizar funciones de gestión del sistema. Estas funciones pueden incluir funciones que son comunes a varias capas.

Funcionalidad del Subsistema de Estación Base (BSS).

Funciones del Controlador de Estación Base (BSC) [1] [12].

- Gestión de canales en el enlace BSC-MSC (controlador de estación base- Centro de conmutación de servicios móviles).
- Gestión de canales de radio

- ◇ Configuración de los canales radio (recibe del Centro de operación y mantenimiento).
- ◇ Gestión de secuencias de salto de frecuencia (Controlador de estación base, Centro de operación y mantenimiento) estas secuencias son enviadas por el controlador de estación base hacia la estación base.
- ◇ Selección de canal, supervisión del enlace y liberación de canal.
- ◇ Control de potencia en el móvil. Determinación del nivel de potencia necesario en el móvil Control de potencia en el subsistema de estación base.
- ◇ Determinación de la necesidad de realizar cambio de canal.

Funciones de la estaciones base.

- Gestión de canales de radio
 - ◇ Supervisión de canales libres y envío de información de estos hacia la controlador de estación base.
 - ◇ Temporización de bloques BCCH/CCCH (*Broadcast Control Channel/Common Control Channel*). Edición de mensajes de aviso.
 - ◇ Detección de accesos al sistema por parte de los móviles.
 - ◇ Codificación y entrelazado para protección de errores.
 - ◇ Determinación del avance de temporización que hay que utilizar para una comunicación con el móvil.
 - ◇ Medidas de intensidad de campo y calidad de las señales recibidas de los móviles.
 - ◇ Recepción de medidas enviadas por los móviles sobre condiciones de intensidad y calidad.
 - ◇ Opcionalmente la estación base puede realizar un pre-procesamiento.
 - ◇ Construcción de los mensajes de aviso a partir de la información recibida desde el controlador de estación base.
 - ◇ Detección de acceso por traspaso de un móvil y comprobación de la identificación de referencia de este traspaso de acuerdo con la información recibida desde el controlador de estación base.
 - ◇ Encriptación de la información de señalización y tráfico.

La configuración de las estaciones bases es un aspecto muy importante en la compra del equipamiento para poder lograr el mismo desempeño previsto por la red diseñada. Con la misma se interpretan las características que brinda el equipamiento al sitio celular con respecto al tráfico y tipo de propagación (sectorizada o omnidireccional).

Configuraciones de las estaciones bases.

- El primer número es la cantidad de gabinetes en la configuración. Por ejemplo, en 3S8000 tenemos como máximo 3 gabinetes enlazados juntos.
- Después viene "O" que significa Omnidireccional o "S" para Sectorizado
- El número de DRXs (*digital receivers*) por cada celda de la estación base.

Por ejemplo:

3S888 = estación base con 3 gabinetes, celdas sectorizadas, y 8 receptores digitales por cada celda

2O16 = estación base con 2 gabinetes, y 16 receptores digitales en 1 celda omnidireccional.

2S444 = estación base con 2 gabinetes, celdas sectorizadas, y 4 receptores digitales por cada celda [13].

Topologías de red Subsistema de Estación Base (BSS).

Cadena (*Chain*): Como ventaja es fiable y fácil de implementar. Como desventaja el fallo de un solo enlace puede provocar el aislamiento de varias estaciones base (BTS). (Véase Figura 1.3 [12]).



Figura 1.3

Anillo (*Ring*): La redundancia brinda alguna protección si falla un enlace. Es más difícil para implementar y extender porque el anillo debe cerrarse. (Véase Figura 1.4) [12].

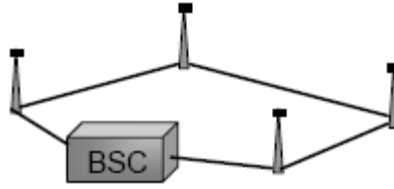


Figura 1.4

Estrella (*Star*): Es la configuración más utilizada para los primeros sistemas GSM. Es costosa porque cada estación base tiene su propio enlace. Un fallo de enlace siempre resulta en la pérdida de una estación base. (Véase Figura 1.5) [12].

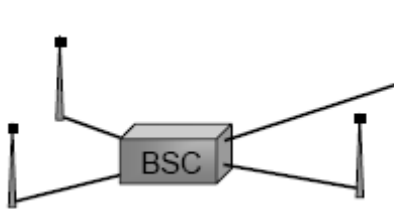


Figura 1.5

1.5 Estructura física del sistema GSM

En la actualidad existen un gran número de fabricantes, de ellos hemos seleccionados a dos que aunque diferentes marcas son muy parecidos, estos son: Motorola y Ericsson.

Al ver que la tecnología que existe en el país es del sistema conocido como Ericsson se analizará solamente este sistema.

Sistema GSM Ericsson

Ericsson ha diseñado una estructura basada en controladores de estación base de gran capacidad, colocados junto a las centrales de conmutación y la utilización de estaciones bases simples. Estas estaciones base utilizan la interfaz A-bis para conectarse al controlador de estación base. El transcodificador/adaptador de velocidad está situado en el controlador de estación base para ahorrar medios de transmisión [12].

El sistema GSM de Ericsson se divide en tres sistemas que siguen el modelo general GSM:

- Sistema de conmutación (SS).
- Sistema de Estación Base (BSS).

- Sistema de operación y mantenimiento (OSS).

Las funciones relacionadas con los abonados y el proceso de llamadas están implementadas en el sistema de Conmutación mientras que las funciones relacionadas con la radio se concentran en el Sistema de Estaciones Base.

El sistema de Operación y mantenimiento atiende las actividades necesarias para la gestión de la red celular y del sistema del GSM.

1.6 Interfaz radioeléctrico.

La banda de espectro radioeléctrico destinada al uso por el sistema GSM es de 890 a 915 MHz para las comunicaciones del móvil a la estación base y de 935 a 960 MHz para las comunicaciones desde la estación base al móvil [2].

La separación entre portadoras de los canales GSM es de 200 KHz y se ha definido una banda de guarda de otros 200 KHz a cada lado de las bandas GSM por lo que el número de canales posibles en la banda es de 124, con frecuencias portadoras que tienen un valor de:

$$F_u = 890 + 0.2 * n \text{ [MHz]} \quad \text{siendo } 1 \leq n \leq 124 \quad F_d = F_u + 45 \text{ MHz.}$$

Modelos de propagación.

Para el estudio o diseño de una red que funcione de manera óptima, cuando el medio de comunicación es el espectro radioeléctrico, se debe hacer un estricto estudio de la propagación que existe en el lugar que se desea diseñar. Este estudio se realiza a través de los llamados modelos de propagación que se ajustan a las condiciones del terreno o ambiente, en el cual se encuentra la red, estos brindan un aproximado de las pérdidas de trayecto que pudieran suceder pero a la vez no todos pueden reunir el total de variaciones que suceden en el ambiente real por lo que se utilizan de manera combinada y no de manera aislada.

Algunos modelos de propagación utilizados en la actualidad son:

- Espacio-libre [4].
- *Okumura* [4] [5]
- *Hata* [4] [6]
- *Cost 231-Walfish-Ikegami* [4] [7]

La selección del modelo de propagación que deseamos utilizar y como se aplica al área de cobertura es de gran importancia y son determinantes para el buen desempeño de los siguientes aspectos:

- La planificación del proyecto: incluye los requerimientos del capital y el presupuesto, y es un factor de importancia que se toma en cuenta durante uno, dos y cinco años de estudios del desarrollo.
- La instalación del sitio: toma un papel en la determinación de la cantidad y localización de los sitios celulares. Se conoce que los requerimientos de cobertura se acoplan con las proyecciones de la carga de tráfico.
- Funcionamiento: mientras más preciso sea el modelo de propagación, se podrá estimar y ajustar los parámetros de funcionamiento del sistema, por ejemplo: la predicción de interferencia, el valor umbral de los traspasos (*Handoff threshold*), ajuste del nivel de potencia y la instalación de la antena (localización y altura).

En la actualidad el trabajo y los cálculos con los modelos de propagación se realizan a través de herramientas computacionales las cuales tienen como base matemáticas los modelos anteriormente mencionados, los más utilizados por estos sistemas de cómputos son el *Okumura*, el *Hata* y el *Cost 231* de los cuales se les dará una breve explicación.

Okumura

Descripción

El reporte de *Okumura* contiene un conjunto de curvas desarrolladas para hacer mediciones extensas en los años 1962 y 1965. Fueron utilizadas para describir la atenuación y variación de intensidad del campo, en terrenos con diferentes características.

Okumura quería tomar en cuenta sistemáticamente las irregularidades del terreno y las variaciones aleatorias ambientales. Para poder organizar los resultados las siguientes categorías fueron presentadas:

- Rasgos del terreno
 - *El terrenos cuasi-lizo*: El terreno plano donde el nivel promedio del suelo no varía por encima de 20 m aproximadamente.

- o *El terreno irregular*: Es cualquier terreno que no es cuasi-lizo e incluye categorías tales como una serie de colinas, las montañas aisladas, los terrenos inclinados y los trayecto con combinaciones de tierra y mar.
- Variaciones aleatorias ambientales.
 - o *El área abierta*: Un espacio donde no hay árboles o edificios altos en el trayecto de propagación. El terreno esta sin obstáculos a distancias de 300 a 400 m delante del móvil.
 - o *El área suburbana*: Un área (un pueblo o carretera) donde hay algunos obstáculos cerca del móvil, pero no esta muy congestionado.
 - o *El área urbana*: Una ciudad o pueblo grande con edificios y casas grandes de dos o más pisos o un pueblo más grande con casas muy cercanas una de la otra y forestación inmensa.

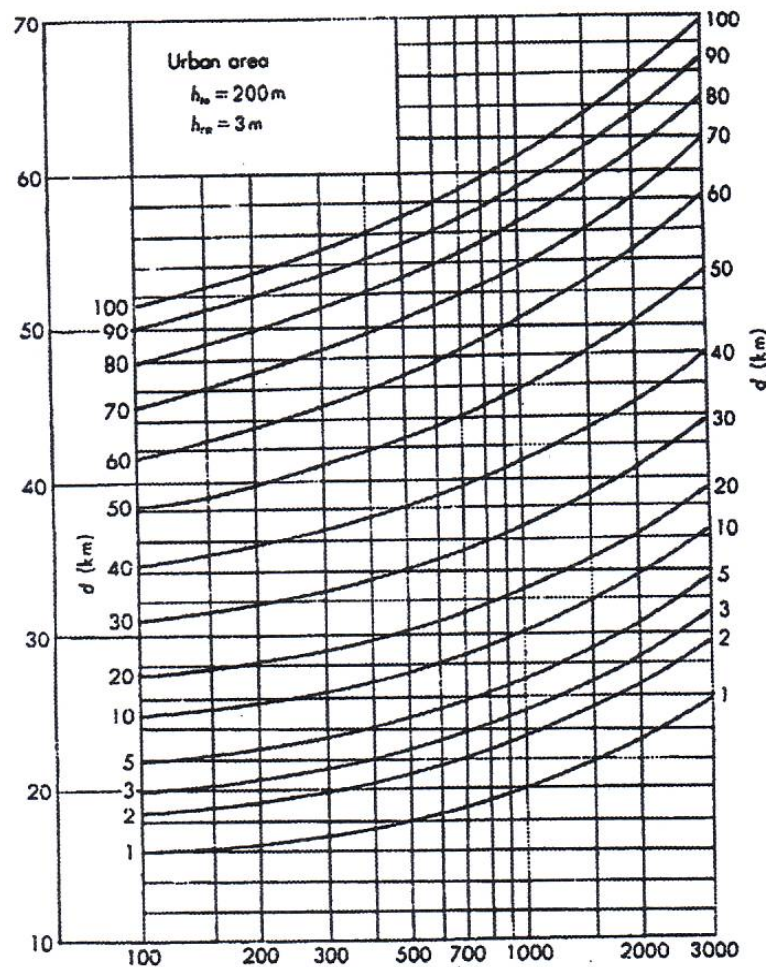


Figura 1.6 Curvas de predicción [de Okumura et.al., '68]

La curva de predicción para la atenuación media básica con respecto al espacio libre a lo largo de terrenos cuasi-lisos de zonas urbanas están referidas a una altura $h_{te} = 200$ m, $h_{re} = 3$ m.

HATA.

Descripción.

HATA es un modelo empírico derivado del reporte original Okumura sobre el fenómeno de propagación. El modelo de *Hata* capta la información gráfica de la pérdida del trayecto de *Okumura* a un conjunto de ecuaciones. Las fórmulas se aproximan a los resultados de *Okumura* por ± 3 dB.

Aplicabilidad.

Este modelo esta basado en la pérdida de trayecto entre las antenas isotrópicas, pero incluyen otros factores tales como la altura de la antena de la estación de base y del móvil. El terreno se asume ser semi-lizo, no irregular.

Rango de aplicabilidad:

- La frecuencia: 150 a 1500 MHz
- La altura de la antena de la estación base: 30 a 200 m
- La altura de la antena del móvil: 1 a 10 m
- La distancia de separación: 1 a 20 Km.

La expresión matemática básica utilizada para calcular la pérdida del trayecto es:

$$L_{Hata} = 69.55 + 26.16 \times \log f_c - 13.82 \times \log h_b - a(h_m) + (44.9 - 6.55 \log h_b) \times \log R$$

Para conocer el significado y los valores de los parámetros que se encuentran en la expresión refiérase a la tabla 1.2.

Tabla 1.1. Los factores de corrección y parámetros

Ciudad pequeña/media	$a(h_m) = (1.11 \log f_c - 0.7)h_m - (1.56 \log f_c - 0.8)$	
Ciudad grande	$a(h_m) = 3.2(\log 11.75h_m)^2 - 4.97$	$[f_c \geq 400MHz]$
Área suburbana	$L_{HATA,suburbana} = L_{HATA} - 2\{\log(f_c / 28)\}^2 - 5.4$	
Área abierta	$L_{HATA,open} = L_{HATA} - 4.78(\log f_c)^2 + 18.33 \log f_c - 40.94$	

Tabla 1.2. Parámetros (modelo de HATA)

Parámetros	Descripción	Rango
f_c	Frecuencia (MHz)	150 - 1500
h_b	Altura de la antena de estación base (m)	30 – 200
h_m	Altura de la antena móvil (m)	1 – 10
R	Distancia de separación	1 – 20
$a(h_m)$	Factor de corrección	

Nota: También se toma en cuenta las alturas de antenas móviles distintas a 1.5m.

COST 231-Walfish-Ikegami

La Cooperación Europea del Campo Científico e Investigación Técnica (COST) es una colaboración entre industria y academia. Su objetivo principal es profundizar en el comportamiento de la propagación de radio de las bandas VHF y UHF, y el desarrollar de modelos de propagación.

Descripción

Los modelos de propagación que ya se han examinados hasta ahora considera solo el trayecto de RF directo entre la estación de base y el móvil. Estos modelos clásicos fueron desarrollados para grandes células (macros) con alturas superiores de la estación base. Como consecuencia estos modelos no son aplicables a muchos sistemas desplegados, y caracterizados por tener trayectos inferiores a 1 Km. En la mayoría de los casos una línea de vista directa (LOS). Por lo tanto, se utiliza el modelo *COST-Walfish-Ikegami* para estimar las pérdidas del trayecto de un ambiente urbano por encima del rango de frecuencias de 800 MHz a 2000 MHz, este considera ambas condiciones de LOS y NO LOS (NLOS).

Aplicación

La aplicación de este modelo se adecua a los trayectos de radiofrecuencia en zonas urbanas entre los siguientes rangos de validez:

- La frecuencia (f_c): 800 MHz a 2000 MHz (DCS-1800).
- La altura de la antena de la estación base (h_b): 4 m a 50 m.
- La altura de la antena del móvil (h_m): 1 m a 3 m.
- La distancia de separación (d): 0.02 Km. a 5 m.

Expresión matemática que representa este modelo:

El modelo de *COST 231* se expresa como la suma de los tres componentes de pérdida:

$$L_{\text{COST}} = \begin{cases} L_{fs} + L_{rts} + L_{ms} \\ L_{fs} \end{cases} \quad \text{Para } L_{rts} + L_{ms} \leq 0$$

Para los términos L_{fs} , L_{rts} , L_{ms} refiérase a la Tabla 1.3

Se nota que cuando la difracción y las pérdidas apantalladas son menores o igual a cero, este modelo se aproxima al modelo de propagación en el espacio-libre.

Antes de examinar las fórmulas, se deben definir algunos parámetros adicionales utilizados por el modelo (Refiérase a la figura 1.7).

- El ancho de la calle (w) – metros
- La distancia entre los edificios del mismo trayecto de RF (b) – metros
La altura del edificio (h_{techo}) – metros $\Delta h_m = h_{\text{roof}} - h_m$; $\Delta h_b = h_b - h_{\text{roof}}$
- El ángulo de incidencia relativa al sentido de la calle (ϕ) – grados

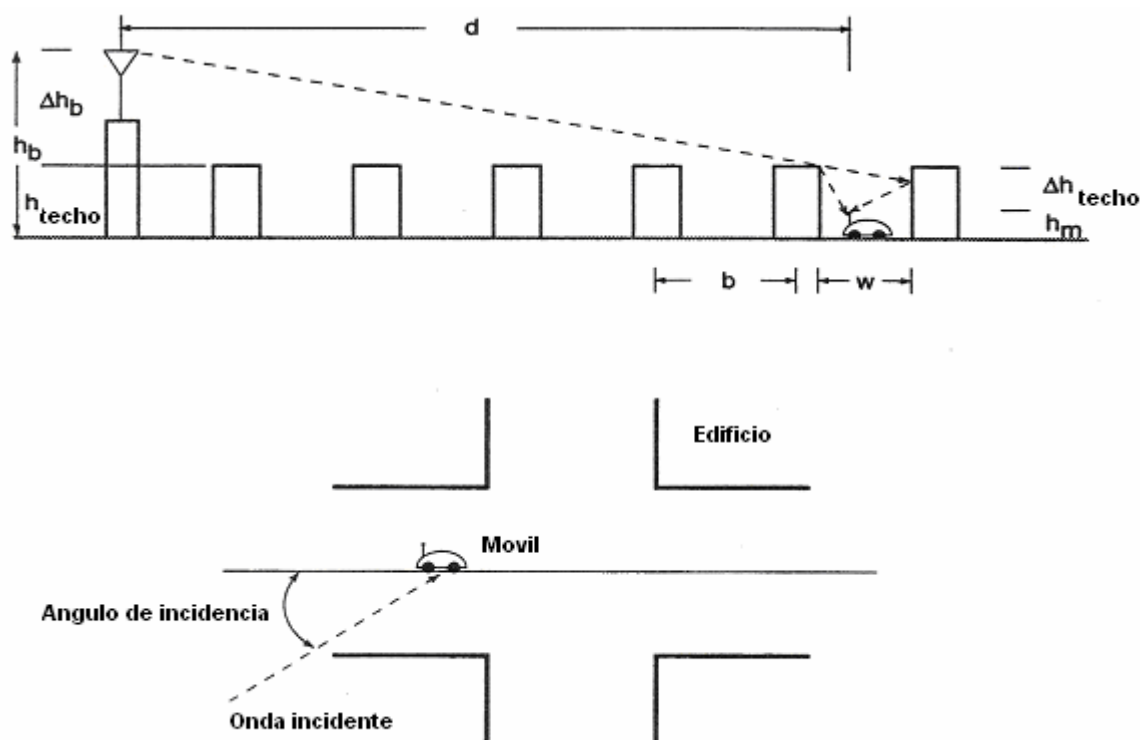


Figura 1.7. Parámetros para el modelo de COST 231

Tabla 1.3. Los principales términos de pérdida

Pérdida del espacio-libre	$L_{fs} = 32.44 + 20 \log(f_{MHz}) + 20 \log(d_{km})$
Difracción y pérdida de propagación del tejado hasta la calle	$L_{rts} = -16.9 - 10 \log w + 10 \log f_c + 20 \log \Delta h_m + L_\phi$
Pérdida <i>multi-screen</i>	$L_{ms} = L_{bsh} + k_a + k_d \log d + k_p \log f_c - 9 \log b$

Tabla 1.4. Términos adicionales

Pérdida del sentido
de la calle

$$L_{ori} = \begin{cases} -10 + 0.354\varphi & \text{para } \dots 0^\circ \leq \varphi < 35^\circ \\ 2.5 + 0.075(\varphi - 35) & \text{para } \dots 35^\circ \leq \varphi < 55^\circ \\ 4.0 - 0.114(\varphi - 55) & \text{para } \dots 55^\circ \leq \varphi \leq 90^\circ \end{cases}$$

Pérdida de la altura
de la estación base

$$L_{bsh} = \begin{cases} -18 \log(1 + \Delta h_b) & \text{para } \dots h_b > h_{roof} \\ 0 & \text{para } \dots h_b \leq h_{roof} \end{cases}$$

Parámetros

Generalmente no se encuentran disponibles los datos correspondientes a las estructuras de edificios encontrados en la práctica. En esta situaciones el modelo *COST 231* recomienda por defecto los valores referidos en al tabla 1.5.

Tabla 1.5. Valores por defecto de los parámetros (COST 231)

Parámetros	Descripción	Rango/Valor
B	Distancia de separación entre edificios (m)	20 - 50m
w	Ancho de la calle (m)	$b/2$ (refiérase a Figura 1.7)
h_{roof}	Altura del edificio (m)	3m (# de pisos) + techo Donde el techo es: • 3m para un techo de asfalto • 0m para un techo plano
φ	Angulo de incidencia	90 grados

Capítulo 2



Capítulo 2

Consideraciones de diseño en Subsistemas de Estaciones Base para entornos GSM

Para diseñar un subsistema de estación base se debe tener en cuenta la incidencia del mismo en el diseño del sistema GSM (Global System for Mobile Communication), pues es aquí donde se determina la calidad de la señal que recibirán los móviles o la central.

Para realizar el diseño del mismo es recomendable hacerlo siguiendo un procedimiento en el cual se tomen en cuenta los procesos más importantes para que su implementación funcione adecuadamente.

Las etapas a seguir en el proceso de diseño de un Subsistema de Estación Base (BSS) del sistema GSM y que más adelante explicaremos a detalle son:

- I. Seleccionar los proveedores y tipo de equipamiento. Realizar el conteo de los sitios y Controladores de Estación Base (BSC) realizando posteriormente un prediseño.
- II. Pruebas de onda continua (CW Tests).
- III. Ajuste con el modelo de propagación mediante herramientas diseñadas para el mismo según la morfología del terreno (rural, urbano, suburbano).
- IV. Rediseñar la red según las pruebas de diseño realizadas en las primeras etapas.
- V. Cuando el diseño esté listo, se realiza la entrega la ubicación de las células propuestas a los especialistas de adquisición.
- VI. Realizar un paseo por sitio, donde los ingenieros civiles, de Radiofrecuencia y de telecomunicaciones se reúnen para detallar el diseño del plan del sitio.
- VII. Realizar el plan de frecuencias.
- VIII. Etapa de construcción y supervisión.
- IX. Al completar la etapa de construcción, se realizarán barridos de frecuencias para detectar problemas con los coaxiales y antenas.
- X. Predicción de interferencia en la cobertura.
- XI. Optimización del tráfico existente.

Después de haber enunciado cada una de las etapas para el diseño de esta red se realizará un análisis más detallado de cada una de ellas, exponiéndose en algunos casos algunos ejemplos para su más fácil comprensión.

2.1 Seleccionar los proveedores y tipo de equipamiento.

En la selección de los proveedores, para la adquisición del equipamiento que formará parte del diseño, se deberán tener en cuenta una serie de especificaciones y requerimientos del sistema, para realizar la selección adecuada del sistema que garantice un buen funcionamiento. Esta selección determina la capacidad operacional de nuestro diseño que utiliza como canal de comunicación el espectro de radiofrecuencia.

Requerimientos y especificaciones.

Para realizar un informe basado en especificaciones y requerimientos se necesitan tener en cuenta los siguientes elementos en el sistema:

- BER: Se debe asegurar que la señal llegue con potencia suficiente pero cuando esto sucede, el entorno de radiofrecuencia puede distorsionar la señal y por lo tanto, se produce un error en la transmisión, se ha tomado como valor aceptable en la modulación GSMK de los sistemas GSM una $BER = 10^{-2}$ [13].
- Calidad de servicio (QoS): Es el parámetro que nos indica con que nivel de calidad se recibirá la señal en un área de cobertura determinada. Esta se logra cuando se ajusta el nivel de potencia requerida para satisfacer una tasa de error de bit determinada y se selecciona un margen de esa potencia por encima o por debajo y con este margen se puede calcular las fluctuaciones aleatorias de la señal sobre un ambiente en particular, lográndose en los receptores una señal estable. Este margen, se podrá observar en los valores de calidad de servicio que se utilizan en los bordes de la célula y en el área de la misma para realizar los cálculos por los diseñadores, los cuales están en los valores del 75% y el 90% respectivamente [12] [2].

Ejemplo de una cobertura segura:

Especificación: Para una señal que posea -80dB de potencia se requiere QoS de 75% en el borde de la célula.

¿Qué se desea expresar con esto?: Se quiere expresar que existe suficiente potencia en cada punto del radio de la célula y que la señal recibida (RSS) es mayor o igual a -80dB con una probabilidad del 75%.

- Consideraciones de tráfico y capacidad: Dependiendo de los requerimientos de tráfico, se necesita tener estimados acerca del número de canales requeridos por cada lugar en la célula. Para esto se necesita la siguiente información:
 - ◇ Grado de servicio (GOS).
 - ◇ Número de subscriptores.
 - ◇ Intensidad de tráfico (Erlang/subscriptor).
 - ◇ Localización y distribución de subscriptores.
 - ◇ Modelos de llamadas.

2.1.1 Selección del equipamiento

La selección del equipamiento que se utiliza en un sistema es de vital importancia, en el desarrollo de un diseño se pueden presentar ciertas restricciones o parámetros que afecten el buen desempeño del mismo. Algunos de los parámetros operacionales que pudieran afectar un buen rendimiento de un sistema diseñado son:

- Potencia de transmisión del móvil a la estación base.
- Figura de ruido y sensibilidad.
- Pérdidas de inserción y del cable.
- Frecuencia de operación.
- Estándar y regulaciones utilizados por el fabricante.

Intermodulación de Radiofrecuencia en el equipamiento utilizado.

Características del equipamiento:

Es necesario saber como verificar la operación y tolerancia asociada al equipamiento del sistema que se empleará. Por lo que se re-examinará los componentes principales en el enlace de radiofrecuencia y se examinarán los parámetros fundamentales que definen su desempeño. Con relación a esto, se revisa los estándares de desempeño establecidos en IS-137 e IS-138 [8].

- Desempeño del transmisor: determina si el equipo puede operar dentro de los límites de ancho de banda, frecuencia y potencia de radiofrecuencia establecido en los mismos por los estándares que se basan los fabricantes como NORTEL, ERICSSON y otros.

- ◇ Potencia de salida: Los sistemas GSM utilizan un control de potencia dinámico para asegurar que cada enlace se mantenga adecuadamente con un mínimo de potencia. Esto proporciona dos beneficios fundamentalmente: las interferencias se minimizan y, en el caso de los móviles, la vida de las baterías se maximiza. La norma especifica para una estación base de clase cinco, una potencia máxima de +43 dBm y unos saltos de potencia de 2dB con una desviación límite de +/- 1,5 dB, mientras que para un móvil de clase cuatro, una potencia máxima de +33 dBm y unos saltos de potencia de 2 dB con una desviación límite de +/- 3 dB. También se tiene en cuenta que se debe transmitir potencia en dependencia del tiempo o sea que empleamos TDMA (Time División Multiplex Access) y esta medida considera la envolvente de la potencia de portadora en el dominio del tiempo, comparándola con una máscara preestablecida (refiérase a la figura 2.1). Los transmisores GSM deben conmutar la potencia de salida entre los estados "on" y "off" dentro de la ranura de tiempo TDMA (*Time División Multiplex Access*) que tienen asignada para evitar interferencias a las ranuras de tiempo adyacentes [13] [3].

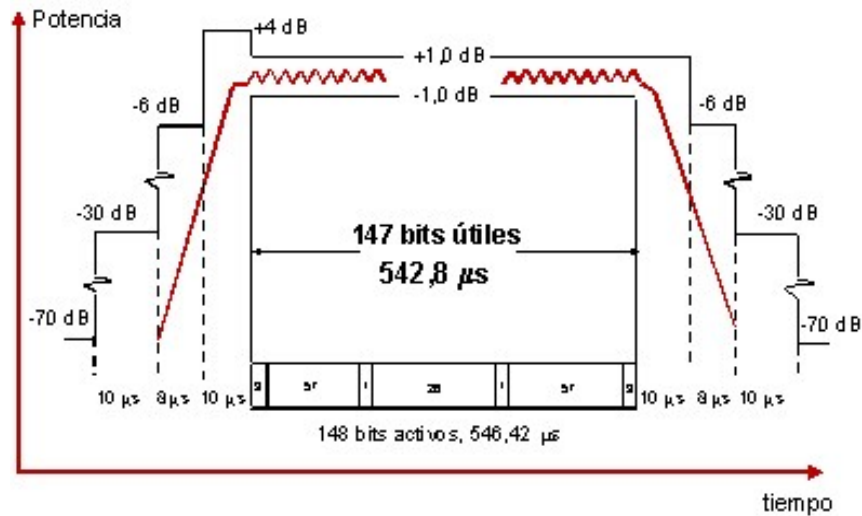


Figura 2.1 Máscara de la ráfaga TDMA GSM

- ◇ Tipo de modulación: GSM utiliza 0.3 GSMK (*Gaussian Minimum Shift Keying*) con una tasa de 270,833 Kbit/s., esta no es una modulación de fase sino un llaveo de frecuencia (*frequency shift*), o un cambio de estado de fase que lleva información. GSMK puede ser visualizado desde un diagrama en fase o cuadratura (I/Q).
- Potencia de los canales adyacentes: En la transmisión GSM las series de transiciones discontinuas o ráfagas de bit producen pequeñas cantidades de energía hacia el exterior de los canales de radiofrecuencia cercanos (refiérase a la figura 2.2). Estas pueden originar interferencias entre canales las cuales perjudican en gran medida la calidad de la señal que se desea, estas son llamadas: Interferencia adyacente del canal siendo la energía que rebosa un canal, por encima o por debajo del canal deseado e interferencia de dos canales adyacentes que es la energía que rebosa dos canales, por encima o por debajo del canal deseado todos esto dentro de la misma ráfaga de bits.

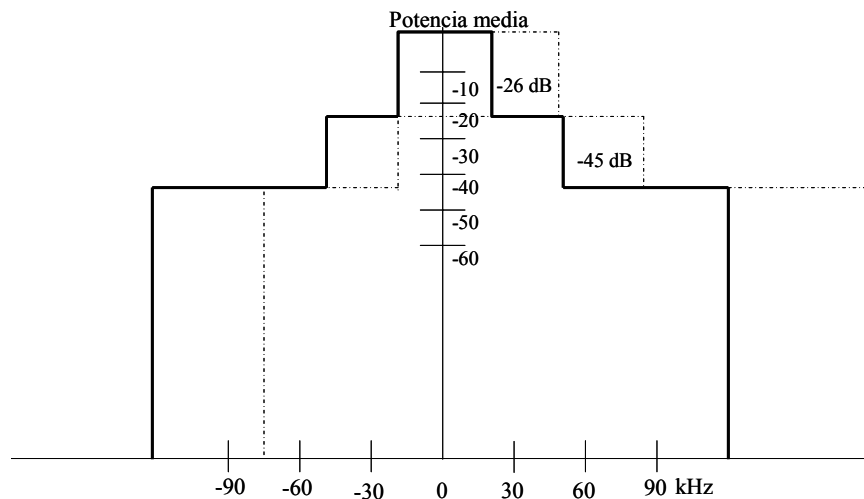


Figura 2.2 Mascara espectral IS-136

- ◇ El filtrado y la salida espuria: El desempeño de los filtros es generalmente especificado mediante el barrido de un rango de frecuencias por un analizador de red y la curva resultante se utiliza para determinar la atenuación del filtro de la señal transmitida a la frecuencia centrada. Las medidas de espurias son necesarias en cualquier sistema de comunicaciones por radio y en el caso de GSM, son extensas por lo que los estándares ETSI y ANSI definen una gran cantidad de medidas para caracterizar las espurias radiadas y conducidas pero se analizará la segunda pues se referencia al caso en el que el equipo se conecta directamente al instrumento de medida por medio del conector de antena. Esta a la vez se divide en dos para su estudio: espurias de transmisión y espurias de recepción. En el caso de las espurias de transmisión, la medida consiste en comprobar que el transmisor no genere interferencias a otras frecuencias de la propia banda de transmisión: 925-960 MHz en GSM900 y 1805-1880 MHz para GSM1800. Por otro lado, las espurias de recepción consisten en aquellas interferencias que un transmisor provoca en la banda de recepción: 880-915 MHz para GSM900 y 1710-1785 MHz para GSM1800, esta medida es importante, ya que un equipo transmisor puede enmascarar a su propio receptor, debido a esto la especificación en estos equipos fijan un valor máximo de potencia

interferente de -104 dBm. Sin embargo, no solo se tendrá en cuenta todo lo anteriormente dicho pues se conoce que en muchos países coexisten tanto el sistema GSM900 como el DCS1800. Por esta razón, es necesario fijar unas especificaciones para asegurar el buen funcionamiento conjunto. Por ejemplo, en el caso de una estación base GSM900, se especifica un nivel de espurias máximo de -47 dBm sobre la banda de transmisión GSM1800 y de -98 dBm sobre la banda de recepción GSM1800. Por último, las espurias fuera de banda cubren el rango espectral desde los 100 KHz hasta los 12,75 GHz y hacen referencia a las interferencias sobre otros sistemas: de navegación, militares, televisión, etc.

- Desempeño del receptor:

Algunos parámetros importantes para el desempeño del receptor son:

- ◇ Sensitividad: Esta describe la intensidad de señal que se requiere para brindar la mínima operación aceptable. Los niveles de sensibilidad de referencia especificado por la norma GSM son [12]:
 - Equipos Portátiles: $S = -102$ dBm
 - Estaciones Base: $S = -104$ dBm
- ◇ Selectividad: Es la capacidad que tiene el receptor para rechazar señales fuera de banda y como se ha dicho anteriormente esta se encuentra por los valores de 18 dB para el primer canal adyacente y 50 dB y 58 dB para los siguientes [12].
- ◇ Rango dinámico: Es el rango útil de intensidades de señales aceptables entre la más débil reconocida y la más fuerte legible (justo por debajo del nivel en el cual empieza la distorsión). El rango dinámico típico de equipamiento del tipo de consumidor es de 60 dB o menos, mientras los instrumentos de la calidad de laboratorio pueden alcanzar tanto como 90 dB [12].
- ◇ Intermodulación: Los sistemas celulares son sistemas de multi-portadoras. La interacción de múltiples portadoras de frecuencia con el hardware puede resultar en distorsión de señal. En general, se puede considerar la generación de señales no deseadas al examinar la figura 2.3.

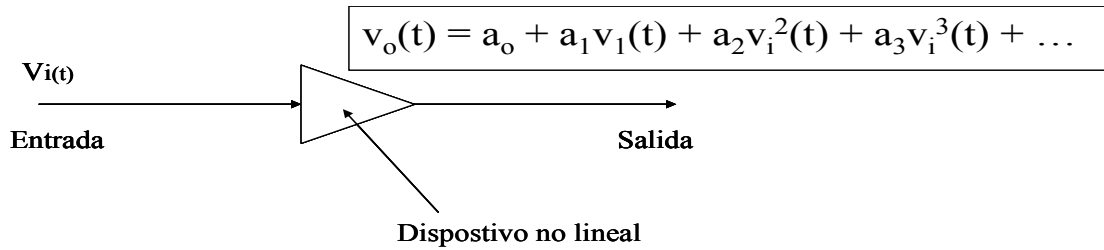


Figura 2.3 Dispositivo no lineal

En la figura 2.3 se examinan la generación de armónicos y las componentes de intermodulación. Estos dos procesos están agrupados bajo el encabezamiento IM, pero al tratarlos por separados, se logra un entendimiento de dos figuras de mérito comunes: punto de compresión de un decibel y punto de intercepción del tercer orden [8].

Punto de compresión de un decibel: Es una medida de la linealidad de amplitud, donde el punto de compresión de un decibel se define como el punto en que la ganancia actual del dispositivo es un decibel por debajo de la respuesta lineal ideal. Este punto de compresión indica el límite superior del nivel de potencia que se puede aplicar sin que el dispositivo se sature y genere una respuesta no lineal [8].

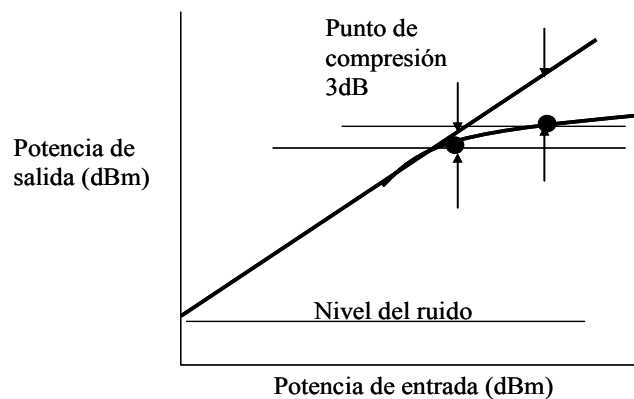


Figura Punto 2.4. Punto de compresión de 1dB

Punto de intercepción del tercer orden: Esto es otra figura de mérito, y se utiliza para caracterizar la linealidad de dispositivos con dos o más entradas. Es una medida de la intensidad relativa para los productos de intermodulación del tercer orden.

El resultado es que, la salida tiene no solo armónicos de las frecuencias de entrada individuales sino también términos de intermodulación [8]:

- El tercer orden

$$2\omega_1 + /- \omega_2$$

$$2\omega_2 + /- \omega_1$$

- El quinto orden

$$3\omega_1 + /- 2\omega_2$$

$$2\omega_2 + /- 3\omega_1$$

El patrón extiende a ordenes superiores con términos de la forma $(n + m)$, obteniéndose un total del orden de la intermodulación. Entre esta colección de términos nos interesa solamente el tercer orden. ¿Por qué?

Hay dos razones:

1. Estos términos tienen magnitudes relativamente grandes.
2. Los términos de diferencia están dentro de banda.

2.1.2 Conteo de sitios y Controladores de estación base (BSC).

El conteo de los sitios celulares está muy relacionado con la cantidad de transceptores que se van a utilizar para la transmisión de las señales de radio frecuencia. La sumatoria del área de todas las celdas que forman el sistema se debería igualar al área completa del terreno en que estará instalado el sistema GSM. Por lo tanto la cantidad de sitios que se van a implementar pueden ser calculadas teóricamente, pero en la práctica pueden existir variaciones. El área de la celda está estrechamente vinculada con la relación portadora / interferencia (C/I), y según las normas del diseño, se debe tener una atenuación de señal de al menos nueve decibeles (dB) (para sistemas digitales como GSM) en el borde de la celda para evitar las interferencias del canal adyacente.

La relación de portadora/interferencia (C/I) con el radio de la celda se demuestra mediante la siguiente ecuación [8]:

$$\frac{C}{I} = \frac{C}{\sum_{k=1}^{N_I} I_k} = \frac{1}{\sum_{k=1}^6 \left(\frac{D_k}{R} \right)^{-\gamma}}$$

Donde:

C: Potencia de la señal.

I: Potencia de la interferencia.

N: Número de células.

D: Distancia co-canal.

R: Radio de la célula.

γ : Exponente de la ley de propagación.

Los Controladores de estación base realizan el control de las mismas y la cantidad de estos controladores de estación base depende de la cantidad de estaciones base y del tráfico que se va a manejar por ellas. Por lo tanto, el conteo de las estaciones base y de los controladores de estación base es la forma de determinar hasta un cierto nivel la cantidad de equipamiento que se necesitará en la etapa de construcción de los sitios. Después de este conteo se tendrá los datos necesarios y se procede a realizar un prediseño del sistema que se desea.

2.2 Pruebas de onda continua.

Después de haber realizado una selección del fabricante del equipo que se va a instalar en los Subsistemas de Estaciones Base, analizándose cuidadosamente los parámetros y características del mismo, se visitará el sitio donde se desea diseñar y se le aplicará la prueba de onda continua, esta prueba conocida también como “CW Test” es aplicada para obtener los datos reales de propagación en el entorno donde se encuentra el sitio que se está diseñando, así sea en la estación base misma o en los emplazamientos de antenas satélites que se ubicaran para mejorar la recepción de la señal proveniente del móvil. Esta prueba se realiza emplazando un transmisor de prueba con una antena omnidireccional o direccional. Después se cambia la frecuencia y la potencia del transmisor a los valores deseados y se maneja un vehículo por una ruta predestinada con un receptor celular especial que colectará

los niveles del indicador de potencia de la señal recibida (RSSI) que el transmisor está radiando a través de la antena al espacio de radiofrecuencia.

En el otro extremo se conecta otro receptor celular y un GPS (*Global Positioning System*) a una Laptop para almacenar los datos. Se le asigna a cada dato una coordenada. Después de que se halla realizado todos estos pasos, se puede post procesar los datos obtenidos en el sitio en cualquiera de las herramientas de cómputo de propagación, la más empleada es MapInfo, en la cual al procesar estos datos nos hará el dibujo en un mapa de los sitios o células con su cobertura y su nivel de potencia el cual es representado por niveles de colores. Estas pruebas deben hacerse para cada terreno que se esté diseñando y para cada morfología de terreno, pues de esta forma se asegura que los datos recogidos sean los reales que posee el área a diseñar para en su posterior post procesamiento poder obtener las coberturas reales de cada celda.

2.3 Ajuste con el modelo de propagación.

En la actualidad todos estos cálculos son realizados a través de programas computacionales que incrementan la rapidez y la precisión de los resultados obtenidos. Ejemplos de estos programas utilizados como herramientas para el cálculo de la propagación y siendo estos los más utilizados por los diseñadores de las redes inalámbricas son: *Planet*, *Odyssey* e *iPlanner* [12].

Una descripción de las tareas que se pueden realizar con el software llamado “*Odyssey*” [14].

Odyssey

Este software ofrece la capacidad de hacer la planificación de frecuencia avanzada y esto beneficia a los operadores donde la demanda de capacidad esta limitada por la interferencia. La asignación de frecuencia puede ser gestionada y analizada basada en observaciones de interferencia con respecto al tráfico del área afectada.

Odyssey [12] realiza un listado de celdas vecinas mediante una herramienta de planificación. Esta puede determinar las relaciones entre los contornos de las celdas vecinas, el solapamiento del área de cobertura y su requerimiento de tráfico. La

herramienta también presenta compatibilidad en la planificación de celdas vecinas, creando y gestionando el criterio de traspaso entre sistemas 2G y 3G.

Los recursos de red pueden ser gestionados mediante varias herramientas de planificación de tráfico que ofrece *Odyssey*. Los mapas de distribución de tráfico pueden crearse de distintas maneras para representar diferentes formas de demanda de tráfico. Estos pueden ser utilizados para establecer los recursos de canales apropiados para la tecnología de la red y los servicios requeridos por los usuarios.

2.4 Rediseñar la red.

Para realizar el diseño de la red se habrá realizado un análisis de los resultados obtenidos en las pruebas llevadas a cabo en las etapas anteriores, las cuales nos aportaran los datos necesarios para realizar un pre-diseño del *Link Budget* [8] [10] que garantizará la calidad del enlace entre la estación base y el terminal móvil

El *Link Budget* es simplemente una compilación de ganancias y pérdidas. Este es, sin embargo, la más efectiva ruta analítica para diseñar un sistema de comunicaciones. Los resultados obtenidos para esto le permitirán:

- Determinar las pérdidas de trayecto máxima permisible entre el transmisor y el receptor
- Estimar la cobertura de la célula (eso es, calcular el radio de la célula)

El objetivo primario que se persigue con estos resultados es asegurar que los enlaces directos e inversos entre la estación base y el terminal móvil estén balanceados con los mismos márgenes de trayecto siendo la ecuación balanceada empleada para el mismo la siguiente:

$$\text{Potencia Tx} - \text{Pérdidas Tx} + \text{Ganancia Rx} = \text{Sensitividad Rx.}$$

Para que el *Link Budget* funcione correctamente es recomendable tener en cuenta ciertos parámetros:

- La potencia máxima y PIRE (Potencia Isotrópica Radiada Efectiva).
- La figura de ruido.
- La sensibilidad de desvanecimiento del receptor.
- El ensombrecimiento log-normal.
- La pérdida de penetración.

- El área de la célula vs. el borde de la célula.
- El margen de desvanecimiento.
- La diversidad en la antena.

Los pasos para determinar el *Link Budget*

1. Estimar la potencia isotrópica radiada efectiva a la salida de la antena.
2. Determinar la figura de ruido del sistema y la sensibilidad de desvanecimiento del receptor.
3. Determinar la máxima pérdida del trayecto permisible basada en los resultados de los pasos uno y dos.
4. Repetir los pasos anteriores para el enlace invertido.
5. Comparar la máxima pérdida del trayecto permisible del enlace directo e invertido para determinar el enlace limitante.
6. Calcular el margen de desvanecimiento (para la dependencia de cobertura especificada) y restarlo de la máxima pérdida del trayecto permisible como se determinó en el paso cinco.
7. Utilizar el modelo de propagación para estimar el radio de la célula.

2.5 Adquisición de los sitios.

En esta etapa los especialistas analizarán la adquisición del sitio donde se ubicarán las células (Estaciones Base con sus antenas) no siendo este un tema de análisis en el actual proyecto pues en esta etapa se realizarán los análisis financieros y constructivos los cuales no son de nuestro interés.

2.6 Adquisición de las hojas de datos.

En esta etapa se realizará la entrega de las hojas de datos por parte de los ingenieros de radiofrecuencia y de telecomunicaciones sobre el tipo de antena y su cantidad así como su orientación y la cantidad de coaxial y equipamiento que se utilizará en el sitio el cual será posteriormente construido.

2.7 Plan de frecuencias.

La planificación de frecuencia trata de solucionar los siguientes problemas [8]:

- Dado un espectro limitado, cual es la forma más eficiente para reutilizar las frecuencias.
- Cómo mejorando la capacidad del sistema se pudiera mantener un nivel de interferencia aceptable.

Bandas de frecuencias.

Teniendo en cuenta que el sistema creado en Europa, tenía como objetivo principal la cobertura internacional del mismo, las normas europeas para los sistemas móviles digitales se dio a la tarea de reservar las siguientes bandas de emisión a nivel internacional para el sistema GSM [12]:

- 890 – 915 MHz para estaciones móviles.
- 935 – 960 MHz para estaciones fijas.

En 1996 se amplía el estándar a la banda de 1800 MHz, reservándose las siguientes bandas de emisión:

- 1710 – 1785 MHz para estaciones móviles.
- 1805 – 1880 MHz para estaciones fijas.

De esta manera surgieron dos clases de GSM llamados GSM900 y GSM-1800 o DCS-1800 diferenciándose principalmente en el rango de frecuencia de operación.

GSM900.

De este sistema se derivaron dos tipos de categorías una llamada GSM primario y el otro GSM-extendido los cuales tenían pequeñas diferencias [12].

P-GSM (GSM-Primario).

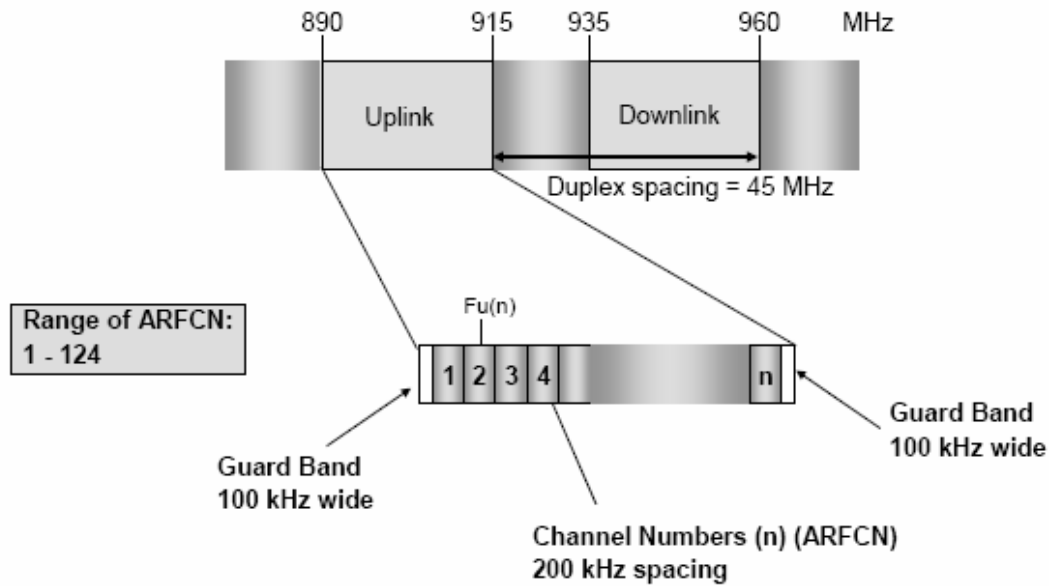


Figura 2.4 Espectro P-GSM

Este presenta una asignación inicial del espectro GSM que provee 124 portadores duplex con multiplex por división de frecuencia para el enlace ascendente y descendente.

Las subbandas duplex son de ancho de 25 MHz y la separación es de 45 MHz.

Los rangos de frecuencia de la subbanda ascendente y descendente son:

- Subbanda ascendente: 890 MHz a 915 MHz.
- Subbanda descendente: 935 MHz a 960 MHz.

La separación de frecuencia entre portadores es 200 KHz (0.2 MHz).

Una portadora es utilizada para las bandas guardas, obteniendo como resultado:

- Un número total de portadoras (ARFCNs) = $(25 - 0.2) / 0.2 = 124$.
- Frecuencias ascendentes: $F_u(n) = 890 + 0.2n$ ($1 \leq n \leq 124$).
- Frecuencias descendentes: $F_d(n) = F_u(n) + 45$.

Donde $n = \text{ARFCN}$

(ARFCN = Número de portadoras de radio frecuencia).

E-GSM (GSM Extendido).

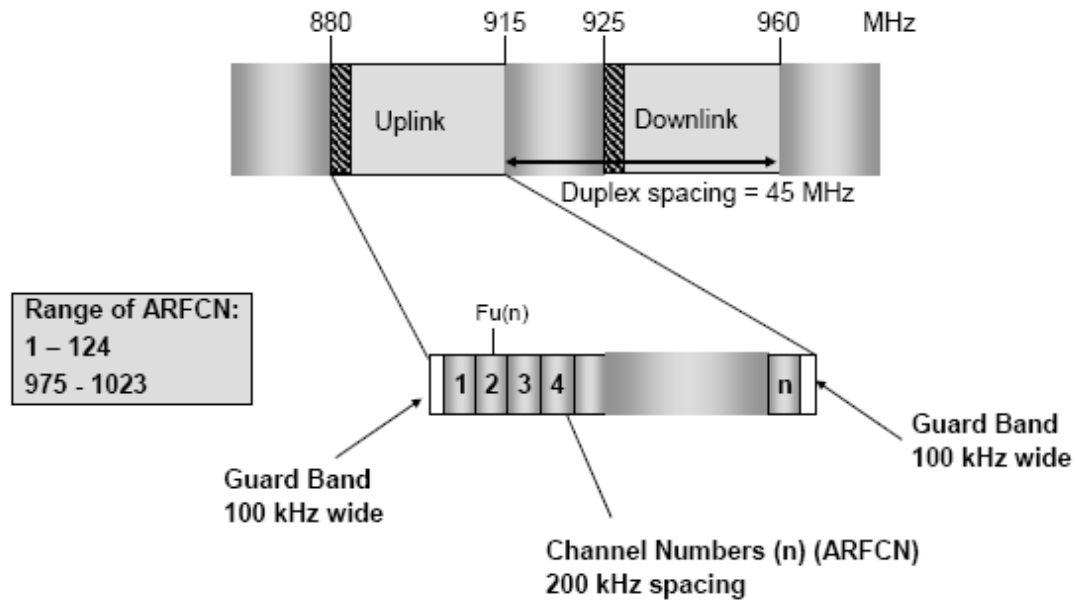


Figura 2.5 Espectro E-GSM

A esta categoría de GSM-900 denominada E-GSM se le asignó portadoras extras al extremo inferior del espectro. Los números ARFCN de P-GSM fueron mantenidos (incluyendo cero [0]) y algunos números ARFCNs se incorporaron al extremo inferior enumerados de 975 hasta 1023.

Las subbandas duplex son de ancho de 35 MHz y la separación es de 45 MHz.

Y presentamos un rango del enlace ascendente y descendente de:

- Subbanda ascendente: 880 MHz a 915 MHz
- Subbanda descendente: 925 MHz a 960 MHz

La separación de frecuencia entre portadores es 200 KHz (0.2 MHz)

Una portadora esta utilizada para las bandas guardas, obteniéndose:

- Número total de portadoras (ARFCNs) = $(35 - 0.2) / 0.2 = 174$
- Frecuencias ascendentes: $F_u(n) = 890 + 0.2n \quad (1 \leq n \leq 124)$
- $F_u(n) = 890 + 0.2(n - 1024) \quad (975 \leq n \leq 1023)$
- Frecuencias descendentes: $F_d(n) = F_u(n) + 45$

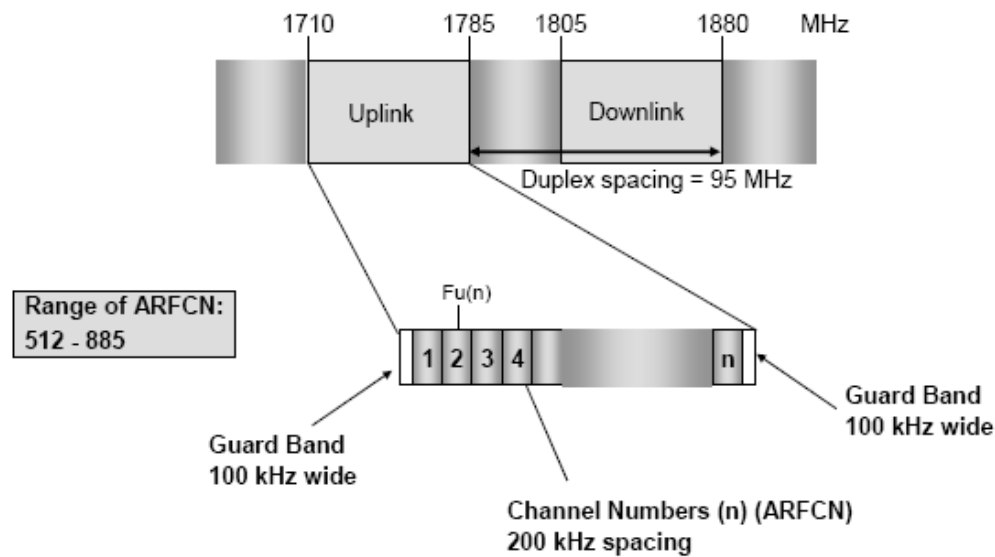
GSM-1800 o DCS-1800.

Figura 2.6 Espectro DCS-1800

El DCS-1800 (sistema de comunicación digital a 1800 MHz) introdujo un rango extendido de espectro para GSM, típicamente utilizado para micro celdas más pequeñas y sobrepuestas por encima de macro celdas existentes.

Las subbandas duplex son de ancho de 75 MHz y la separación es de 95 MHz.

Los rangos de frecuencias del enlace ascendente y descendente son:

Subbanda ascendente: 1710 MHz a 1785 MHz

Subbanda descendente: 1805 MHz a 1880 MHz

La separación de frecuencia entre portadores es 200 KHz (0.2 MHz)

Una portadora esta utilizada para las bandas de guarda, obteniéndose:

- Número total de portadoras (ARFCNs) = $(75 - 0.2) / 0.2 = 374$
- Frecuencias ascendentes: $F_u(n) = 1710 + 0.2(n - 512)$ ($512 \leq n \leq 885$)
- Frecuencias descendentes: $F_d(n) = F_u(n) + 95$

Donde n = ARFCN (ARFCN – Número de portadoras de radiofrecuencia)

En las diferentes variantes de GSM que se han mostrado se observa como el espectro radioeléctrico con que se cuenta es limitado por lo que se debe reutilizar las frecuencias de manera planificada para aumentar el número de usuarios que se le pueda dar servicio en un área determinada. A la vez, esta reutilización toma en cuenta las interferencias co-canales y

de canal adyacente, siendo estas, el principal problema para la recepción con calidad de la señal que se recibe.

Las limitaciones de reutilización.

Idealmente, se puede asignar tantos canales como se necesitan en cada celda, sin pensar en interacciones entre si y sin complicaciones relacionadas con la electrónica, ni con la interferencia. Sin embargo, existen algunas restricciones como consecuencia de los límites de la electrónica utilizada y la interferencia que se encuentre presente y estas son [8]:

- Combinadores
- Interferencia del canal adyacente (ACI)
- Interferencia co-canal (CCI)

Combinadores.

Los combinadores sintonizados aíslan los transmisores de la antena. La antena común esta alimentada por los transmisores mediante un filtro sintonizado para dejar pasar solo la frecuencia del mismo. Este filtro se le llama cavidad sintonizada, pues el mismo atenúa las frecuencias de las demás señales y no les permite llegar al transmisor. Para asegurar que esto suceda, se requiere aproximadamente 21 separaciones de canales de frecuencia a la entrada del combinador para así tener un aislamiento de 17 dB.

A partir de los requerimientos del combinador, estarán dadas las restricciones relacionadas con la frecuencia (interferencia co-canal y canal adyacente) [8].

El factor de reutilización

La pregunta hecha sobre el diseño del sistema es “¿Cuál es el mejor factor de reutilización (N) una relación para poder mantener portadora/interferencia aceptable con la mayor cantidad de canales posibles?” La razón del radio de la celda R, y la distancia entre los sitios co-canales, D, está muy relacionada con este factor de reutilización [8].

$$\frac{D}{R} = \sqrt{3N}$$

Sabiéndose que el concepto celular consiste en reutilizar las frecuencias bajo niveles de potencia de emisión controlados, con el fin de optimizar el uso del espectro, al satisfacer necesidades de tráfico distribuidas en el espacio con las mismas frecuencias. Lo anterior se

traduce en diseños estructurados en base a modelos estándares de agrupación de estaciones bases que nacieron en la década de los ochenta con los primeros sistemas análogos, las agrupaciones de celdas se denominan en base al factor de reutilización (N) que toma el valor de la cantidad de estaciones bases que agrupa, siendo el estándar empleado en telefonía celular análoga igual a $N = 7$ y exhibiendo una pérdida de trayecto con un valor aproximado de 40 dB/década.

Lo que se necesita es una relación entre el factor de reutilización (N), los valores resultantes de distancia co-canal (D) y la distancia de cobertura (R) derivada de la geometría hexagonal, tal que se logre la razón empírica mínima de 18 dB. Esto fue posible cuando se crearon seis celdas interferentes alrededor de la celda servidora, espaciadas con iguales distancias se obteniéndose una relación portadora/interferencia igual a:

$$\frac{C}{I} = \frac{C}{\sum_{k=1}^{N_I} I_k} = \frac{1}{\sum_{k=1}^6 \left(\frac{D_k}{R} \right)^{-\gamma}}$$

Expresión de la razón D/R en términos de la relación portadora/interferencia (C/I):

$$\frac{D}{R} = \left[6 \left(\frac{C}{I} \right) \right]^{\frac{1}{\gamma}}$$

Como la distancia co-canal (D) es la misma para cada una de las seis celdas, se puede escribir:

$$\frac{D}{R} = \left[6 \left(\frac{C}{I} \right) \right]^{\frac{1}{\gamma}} = \sqrt{3N}$$

Se sabe que necesitamos una relación portadora/interferencia (C/I) de 18 dB, la cual se utilizará para lograr una comunicación libre de interferencia. Nótese que 18 dB es una relación de potencia de aproximadamente 63u. Por lo tanto nuestra señal deseada debe ser al menos 63 veces más fuerte que la suma de las interferencias.

Por el uso de $C/I = 18$ dB y (Exponente de la ley de propagación) $\gamma = 4$, tenemos:

$$\frac{D}{R} = [6(63.1)]^{0.25} = 4.41 = \sqrt{3N} \quad \therefore N \sim 7$$

Para la telefonía digital como GSM, el factor de reutilización recomendado y ampliamente empleado en la Industria a nivel internacional es $N = 4$ (4 estaciones bases con 4 portadoras por sector y tres sectores en cada estación base). Sin embargo, el factor final, dependerá del

espectro de frecuencias asignado, con el fin de asegurar una razón calidad eficiencia, adecuada.

Por lo visto anteriormente se puede afirmar que el valor del factor de reutilización (N) determina:

- La capacidad de una celda individual: mientras que aumente el factor de reutilización (N), disminuirá la capacidad de la celda.
- La interferencia: mientras que aumente el factor de reutilización (N), se reducirá la interferencia.

En la actualidad los cálculos de los factores de reutilización se realizan a través de herramientas de cómputos o tablas que brindan información acerca la relación D/R y de canales/celdas. Un ejemplo de esto se puede ver en la tabla 2.1 [8].

Tabla 2.1. Resumen del factor de reutilización

N	D/R	canales/celdas
1	1.73	395
2	2.45	198
3	3.00	132
4	3.46	99
5	3.87	79
6	4.24	66
7	4.58	56
8	4.90	49
9	5.20	44
10	5.48	40
11	5.75	36
12	6.00	33

Condiciones reales

Nótese que los requerimientos en los párrafos anteriores contienen algunas implicaciones que son muy importantes, tales como: potencia de la señal de interferencia con la misma intensidad, iguales alturas de las torres donde se encuentran ubicados las antenas, potencias radiadas efectivas iguales en las celdas, presencia de terrenos planos e iguales valores en el factor de pérdida de trayecto. Estos requerimientos no se encontrarán en la práctica, pero fueron tomados en cuenta para derivar la solución de interferencia mínima, en el factor de reutilización ($N = 7$).

La figura 2.7 de la figura muestra un margen de C/I de solo 17.3 dB, donde:

$$\frac{C}{I} = \frac{R^{-4}}{2(D-R)^{-4} + 2D^{-4} + 2(D+R)^{-4}} = 17.3dB$$

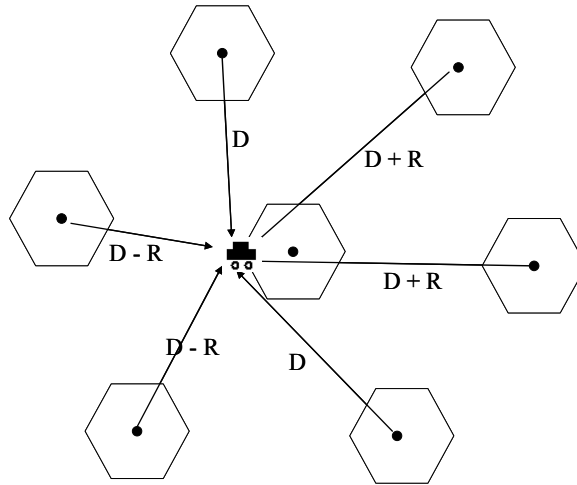


Figura 2.7. Interferente no igual

Sectorización

¿Por qué sectorizar? Existen algunas ventajas [8]:

- Se puede utilizar un valor de factor de reutilización (N) menor, y cuando la capacidad de tráfico en Erlang se reduce con respecto a una celda omnidireccional, el aumento de la frecuencia de reutilización incrementa la capacidad.
- La sectorización brinda una mejora en el control de interferencia. Aun sin cambiar el factor de reutilización (N) se puede mejorar la relación portadora/interferencia.
- Con el mismo factor de reutilización (N) la sectorización nos da flexibilidad para controlar la distribución del tráfico y reducir la interferencia en los bordes coexisten celdas grandes y pequeñas.

Planes de frecuencia recomendadas

En esta sección se describe en las diferentes configuraciones de sitios celulares en términos de los planes de reutilización de frecuencia.

Los sitios celulares entre el espectro de 800 MHz a 1900 MHz apoyan planes de células omnidireccionales y sectorizadas con factores de reutilización $N=4$ y $N=7$. También Nortel ha propuesto un plan con factor de reutilización de $N=8$ empleando una forma de sectorización tri-celular [8].

El factor de reutilización $N = 7$ (¿Qué significa?)

El factor de reutilización $N = 7$ es el estándar muy utilizado en la telefonía analógica celular, debido al logro de valores de la relación portadora/interferencia (C/I) aceptable por el uso del factor de reutilización. Sin embargo dos de seis celdas vecinas tendrán canales adyacentes sin importar la forma de asignar los canales en los clusters o grupos. En general, $N = 7$ se emplea frecuentemente en la práctica aunque las relaciones entre canales adyacentes se deben manejar con cuidado. Nótese que las condiciones de propagación pueden provocar problemas de interferencia co-canal (figura 2.8).

Para lograr una capacidad superior, el sistema omnidireccional $N = 7$ se sectoriza como se muestra en la figura 2.9. Cada celda está dividida en tres sectores. Existen seis celdas co-canales vecinas y la relación $D/R = 7.14$ (comparada con $D/R = 4.6$ para omnidireccional), reduciendo altamente los niveles de interferencia. De 21 clusters o grupos hay solo dos, y cada uno tiene un solo canal adyacente vecino [8].

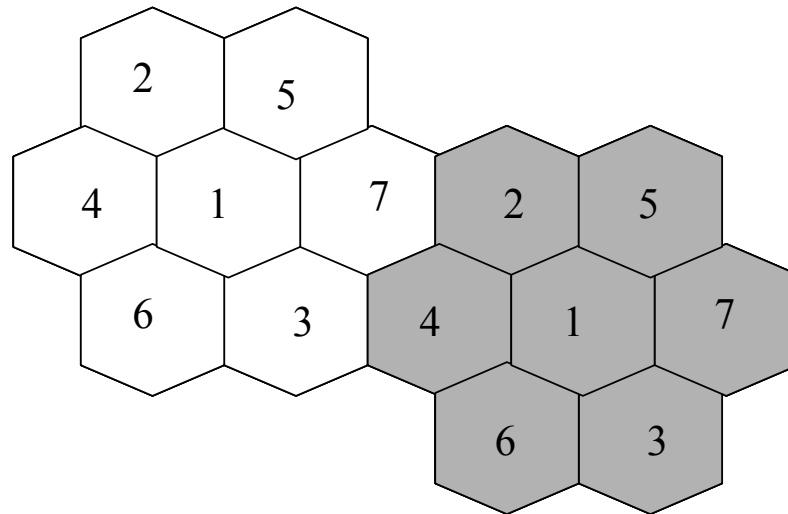


Figura 2.8. Patrón de reutilización omnidireccional $N = 7$

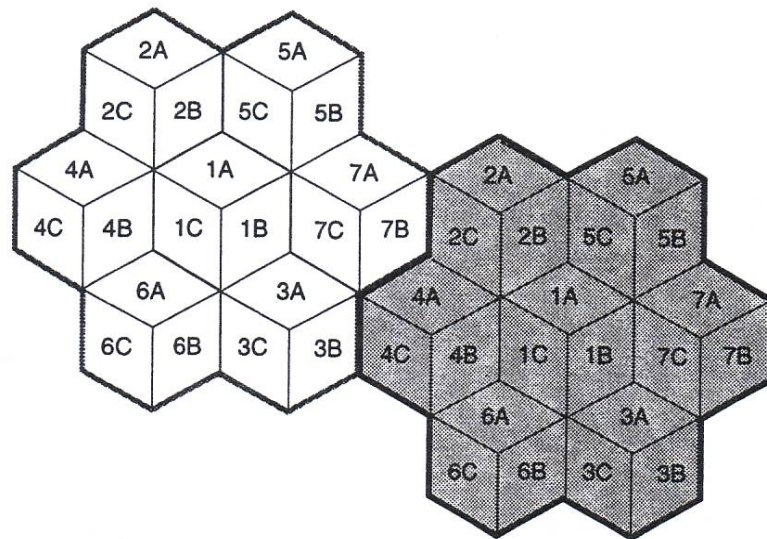


Figura 2.9. Patrón de reutilización tri-sector $N = 7$

El factor de reutilización $N = 4$ (¿que significa?)

En este factor (más utilizado por los sistemas digitales como GSM) no se considerará el empleo de un factor de reutilización omnidireccional $N = 4$ porque este genera un número significativo de interferencias, teniendo el sistema sectorizado (figura 2.10.) se crea una situación mejor, debido a que las celdas vecinas co-canales se alejan mucho más.

Existiendo así en esta sectorización las probabilidades de una relación de dos D/R de 5.20, dos con D/R de 6.0 y cuatro con D/R de 7.14 no existiendo canales adyacentes vecinos.

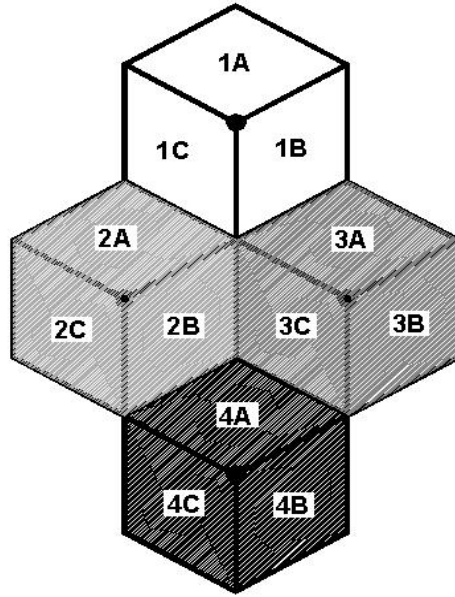


Figura 2.10. El patrón de reutilización tri-sectorizado N = 4

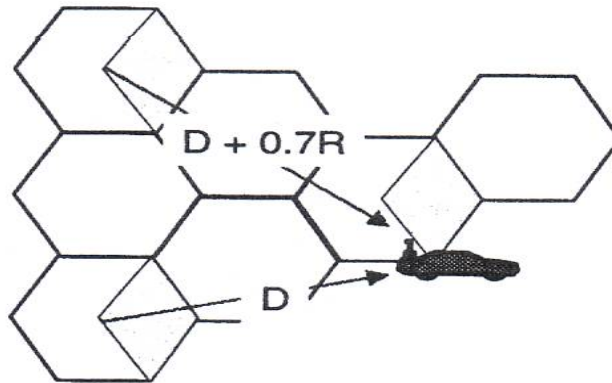


Figura 2.11. Geometría de los sectores de 120 grados N = 4

Basadas en esta geometría, se puede calcular la relación portadora/interferencia (C/I) de un plan con factor de reutilización (N = 4) de sectorización.

$$\frac{C}{I} = \frac{1}{\left(\frac{D}{R}\right)^{-4} + \left(\frac{D}{R} + 0.7\right)^{-4}} = 20dB$$

El resultado de la relación portadora/interferencia (C/I) es teórico y es de aproximadamente 20 dB, el cual está sujeto a variaciones producto del entorno. Después se puede observar que el empleo tri-celular mejora la resultante.

Planes de frecuencia alternativos

¿Qué es tri-celular?

“Tri-celular” se refiere a una configuración en que la celda se divide en tres hexágonos. Esto es parecido al diseño tri-sectorizado más común de 120 grados en que la celda hexagonal se divide en tres sectores. Se muestran una comparación geométrica de los dos tipos en la figura 2.12. Se puede notar claramente el mejoramiento de la relación portadora/interferencia (C/I) que brinda el sistema tri-celular en comparación con el estándar de 120 grados [8].

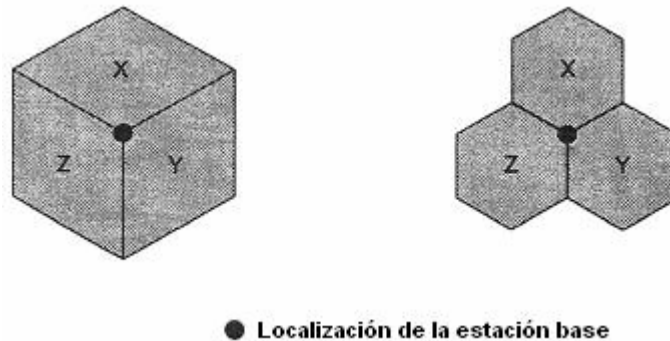


Figura 2.12. Comparación de tri-celular con tri-sectorizado de 120°

Análisis de la relación portadora/interferencia (C/I) de una tri-celular

En la figura 2.13 se muestran los contornos de la relación portadora/interferencia (C/I) de una antena con un ancho de haz horizontal de 60 grados. Una antena con un ancho de haz horizontal de 70 grados brinda una relación portadora/interferencia (C/I) mejorada por aproximadamente 2.2 dB. Se recomendó un ancho de haz horizontal de 3 dB y 65 grados junto con una inclinación hacia abajo de 6 grados, debido a que esta configuración se corresponde la geometría del sector [8].

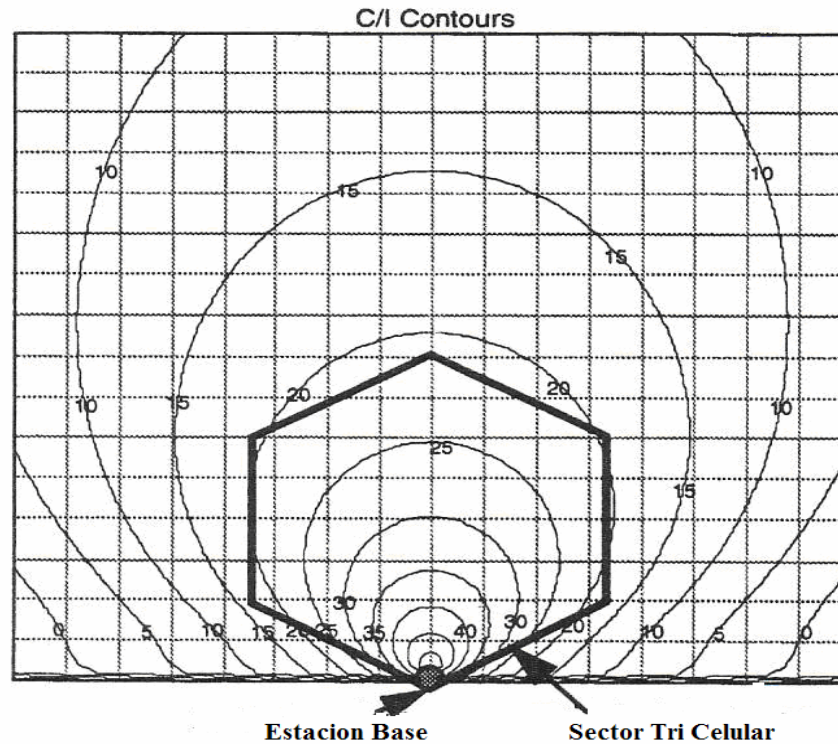


Figura 2.13. Contorno C/I geométrico

El factor de reutilización $N = 4$

Despliegue de alta capacidad o migración de $N = 8$.

La capacidad se puede incrementar fácilmente por migrar al reutilización de $N = 4$. La geometría de reutilización puede ser vista como dos patrones de reutilización $N = 8$ superpuestos para que la mitad inferior y superior se superponga en el mismo cluster o racimo. Se ilustra el patrón de reutilización $N = 4$ en la figura 2.14 [8].

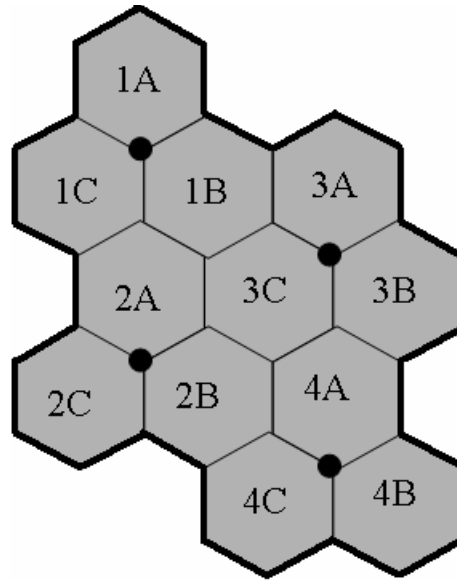


Figura 2.14. Patrón de reutilización de frecuencia $N = 4$

Reglamento para planificación de frecuencias.

El plan de frecuencia divide las frecuencias disponibles entre todas las celdas en el sistema para solucionar las necesidades del tráfico mientras minimiza la interferencia. Antes de ver el procedimiento general, se deben tener en cuenta las limitaciones principales [8]:

- Canales adyacentes: No se puede usar canales adyacentes en la misma celda. Se debe minimizar tanto como sea posible, los canales adyacentes dentro de las celdas adyacentes por que son indeseables.
- Co-canales: Son dos celdas que usan los mismos canales (celdas co-canales) que se deben separar geográficamente para preservar al menos la magnitud de la relación portadora/interferencia (9 dB) en sus bordes de servicio.
(La separación geográfica requerida D/R se determina del análisis de propagación.)
- Combinadores: Los canales usados por los transmisores que alimentan la misma antena debe estar lo suficientemente separadas en frecuencia para permitir que los combinadores tengan un buen aislamiento. Una alternativa a esto es el uso de un combinador híbrido.

Pasos o etapas para crear un plan de frecuencia.

1. Analizar la predicción de propagación o mediciones prácticas para determinar el D/R apropiado para cada entorno del sistema. Esto determina la pérdida del trayecto que provee el aislamiento espacial requerido para la reutilización de frecuencia.
2. Usa D/R para seleccionar en general el factor de reutilización total. A mayor pérdida del trayecto, menor será la razón D/R.
3. Usando el factor de reutilización (N) seleccionado, se asignan grupos de canales específicos para cada celda. Con un valor de factor de reutilización (N), se puede consultar la tabla de reutilización de frecuencia apropiada (véase el anexo ¿?) para asignar grupos de canales a las celdas individuales.
4. Asignar los canales de voz y control. Los tipos de asignaciones que se deberían hacer incluyen canales de tráfico GSM (TCH) y canales de control (CCH).
5. Evaluar los resultados con el uso de una herramienta de predicción de propagación y/o mediciones.
6. Revisar el plan para optimizar la relación portadora/interferencia (C/I) donde no sea aceptable.

2.8 Etapa de construcción y supervisión.

En esta etapa se llevara a cabo la ejecución del proyecto aprobado anteriormente por los ingenieros pero a la vez se deberá realizar una supervisión detallada de cada proceso de ejecución para asegurar que se realice con los parámetros requeridos y especificados en el proyecto por lo que se revisará que el equipamiento sea colocado y configurado correctamente al igual que las antenas que serán revisadas en cuanto a su altura y orientación.

2.9 Realización de barridos de frecuencias.

En esta etapa los ingenieros realizarán una prueba de barrido de frecuencia, la cual consistirá en la generación de pulsos a una potencia determinada en un rango de frecuencia según el espectro que se necesita barrer, estos pulsos estarán separados en dependencia del

sistema que estemos utilizando (P-GSM, E-GSM, DCS-1800). Cuando se estén generando los pulsos estos serán recibidos por un receptor en el otro extremo de la línea de alimentación o muy cercanos a la antena, por la cual es radiada la señal, esta señal se medirá teniendo como resultado la potencia de la señal recibida obteniéndose así la información de las pérdidas ocurridas a través de los cables de alimentación en cada frecuencia en que fue realizado el barrido.

Esta prueba es muy importante pues brinda cuan eficiente es la instalación del equipamiento ayudando con sus resultados a mejorar la eficiencia del mismo.

2.10 Predicción de interferencia en la cobertura.

La predicción de interferencia en la cobertura se realiza utilizando un instrumento llamado “Analizador de espectro”. Este equipo es manipulado por un ingeniero en radiofrecuencia, para asegurar que el espectro (Banda de frecuencia) utilizado legalmente por un operador este libre de señales transmitidas a la misma frecuencia por otros operadores. Por lo tanto es una forma para evitar el uso ilegal de una banda de frecuencia. Las interferencias que existen en una red celular GSM no son solamente de co-canal y canal adyacente sino también de otros operadores que transmiten y aprovechan ilegalmente bandas de frecuencias ya asignadas a un operador específico. El analizador de frecuencia se conecta a la estación base y mediante el mismo se puede observar todas las componentes de frecuencia que existen en el espectro de frecuencia correspondiente a esta estación base [8].

2.11 Optimización de la red.

Esta es la ultima etapa y no por eso la menos importante pues esta se realiza cuando ya esta en completo funcionamiento la red y se debe realizar frecuentemente, aunque la red este trabajando correctamente, con esta prueba se obtendrán todos los datos necesarios para conocer las interferencias, potencias, atenuaciones, desvanecimientos que existen en el campo radioeléctrico del sitio que se ha diseñado. La optimización del tráfico existente es un proceso muy analítico realizado para incrementar la eficiencia de la red celular en la que se realiza también un Drive Test con una herramienta de cómputo llamada TEMS [9].

Equipamiento de TEMS

El equipamiento de TEMS [9] (figura 2.15.) es una herramienta móvil utilizada para la optimización eficiente de redes celulares. El mismo puede estar presente en el mercado de dos formas:

- Como un sistema computarizado con un GPS (*Global Positioning System*) incorporado y dos o tres teléfonos celulares de propósito especial.
- Como una laptop con un programa llamado TEMS instalado, un GPS (*Global Positioning System*) y dos o tres teléfonos celulares de propósito especial.

Características principales

- Apoya el uso simultaneo de dos o tres teléfonos GSM
- Interfaz de usuario intuitiva
- Flexible montaje y sujeción en el auto que se va a instalar.
- Sistema GPS (*Global Positioning System*) integrado o externo.
- Alta capacidad para almacenar ficheros de información (*log files*)
- Rápida y fácil presentación de las ventanas incluyendo información de GPRS (*General Packet Radio System*)

La pantalla del TEMS le permite al usuario observar un resumen de los parámetros de la red principal en forma gráfica y numérica. Los parámetros interpretados durante el *Drive Test* son:

- Nivel de Recepción
- Relación portadora/interferencia.
- Estadísticas de llamadas obtenidas del *Drive Test* (que incluye llamadas caídas, bloqueadas, y exitosas).
- Estadísticas de traspasos obtenidas del *Drive Test* (que incluye éxitos y fallos)



Figura 2.15 Equipamiento TEMS

Otra de las posibilidades es que cuando estamos con el sistema computarizado TEMS figura 2.16., no con la *laptop* con el software, este puede ser acoplado a una computadora donde posteriormente se realizara el post-procesamiento de los datos capturados por el mismo.

En este sistema representado en la figura 2.15 se puede ver el desempeño de dos teléfonos móviles conectados simultáneamente en el cual uno es usado para las pruebas de llamadas telefónicas y el otro es utilizado para escanear la red. La mitad izquierda de la pantalla muestra los parámetros de información de radiofrecuencia que ayuda al usuario identificar su posición dentro de la red.

El *software* brinda una vista de los parámetros GSM incluyendo una pantalla de inicialización, por la cual los usuarios pueden seleccionar el almacenamiento por defecto de ficheros log, alarmas de audio, guión de llamadas y un listado de llamadas rápidas (*speed dial list*).

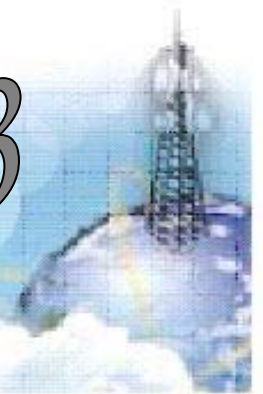


Figura 2.16 Conector para acoplar TEMS a una computadora

Algunos otros parámetros en las ventanas el programa son:

- Vista de parámetros de Radio: NivelRx (nivel de recepción), C/I (relación portadora/interferencia), SQI (*Signal Quality Indicator*) (indicador de calidad de la señal), Potencia Tx (potencia de transmisión), FER (*Frame Error Rate*) (tasa de error de cuadro) y C/A (relación co-canal/canal adyacente)
- Vista de sitio y celdas vecinas: Celda servidor, canal actual, una gráfica de barra coloreada de la celda en servicio y celdas vecinas que compara o que indica los parámetros ARFCN (*Absolute Radio Frequency Carrier Number*) (Número de portadoras de frecuencia de radio absoluta) y NivelRx.
- Vista GPRS (*General Packet Radio System*): *Throughput* RLC (*Reliable Radio Link Control*) para ambos enlaces ascendente y descendente expresado en porcentaje o Kbit/s. También contiene información sobre las ranuras de tiempo utilizadas, peor caso de relación portadora/interferencia.
- Escáner de la red GSM: Banda y NivelRx.
- Vista de eventos: demuestra el tiempo, NivelRx, Nombre de celda y distancia de celda para los eventos.

Capítulo 3



Capítulo 3

Caso de estudio

En este capítulo se realizará el análisis de un caso de estudio el cual servirá para ilustrar los resultados positivos que se pueden obtener cuando se realiza el diseño de un sitio celular con las consideraciones de diseño propuestas en el capítulo anterior. Este ejemplo se realiza con el objetivo de que este trabajo de diploma se convierta en un instrumento importante en la optimización y diseño de las redes de telefonía móvil en nuestro país, mejorando la eficiencia de las mismas y lo cual hará más económica su implementación.

Ejemplo del diseño de un sistema P-GSM 900 (GSM-Primario)

Situación problemática:

Se desea diseñar un sistema celular digital P-GSM 900 empleando una distribución de suscriptores uniforme con células hexagonales que tienen un radio $R = 1$ Km. y los racimos se constituyen de $J = 4$ células. Se dispone un total de portadoras $C = 124$ canales (pares) (cantidad de portadoras del sistema GSM). La probabilidad de congestión por tráfico es de $P_t = 2\%$. El tráfico por móvil es $a = 25$ mE (mE = 0.001Erlang). La superficie total de cobertura es $S = 700$ Km². La problemática consiste en realizar el dimensionamiento de la red y el respectivo diseño del sitio.

Solución:

Otros datos adicionales para el diseño:

- Frecuencia de operación: 900 MHz (P-GSM).
- Descripción del área de terreno: Plano.
- Vegetación: Moderada.
- Morfología: urbano.
- Enlace ascendente: 890 – 915MHz (P-GSM).
- Enlace descendente: 935 – 960MHz (P-GSM).
- Separación entre canales es de 200 KHz (P-GSM).
- Objetivo de calidad de cobertura: $L = 80\%$
- Ganancias de antenas : $G_{Tx} + G_{Rx} = 10$ dBi

- Factor de ruido del receptor: $F_r = 6 \text{ dB}$
- Pérdida de penetración en el medio urbano: 15 dB
- Pérdidas en elementos pasivos del transmisor y receptor: $L_{pTx} = 2.5 \text{ dB}$

Etapas I

Como primer paso en el diseño se seleccionan los proveedores y tipo de equipamiento y posteriormente se realiza un prediseño de la cantidad de sitios y controladores de estaciones de base (BSC).

En la búsqueda de proveedores que nos pudieran brindar un servicio seguro y eficiente pudimos encontrar varios, los cuales se analizaron, estos proveedores fueron: “Ericsson” (ver anexo II), “Nortel Networks” (ver anexo III), “Nokia” y “Alcatel”. Analizando las hojas de datos escogimos el equipamiento de la firma “Ericsson”, utilizado los siguientes productos:

Tabla 3.1 El equipamiento seleccionado para el diseño de subsistema

Tipo de equipamiento	Marca
Estación de base RBS 2206	Ericsson
Controlador de estación de base BSC 600	Ericsson
902-928MHz 10dBi 120 Deg Sector Panel Antenna	Super Pass (ver anexo VI)

Después de tener el fabricante de los productos a utilizar se procede al cálculo del número de células o sitios los cuales se corresponden con la misma cantidad de estaciones base. Esto se realizará dividiendo el área total que se desea diseñar entre el área de una célula.

Primeramente se calculará el área de cobertura de la célula hexagonal de la siguiente forma:

$$S_c = \frac{3\sqrt{3}R^2}{2} = \frac{3\sqrt{3}(1)^2}{2} = 2.56 \text{ Km}^2 = 2.6 \text{ Km}^2$$

Donde R es el radio de la célula.

Cantidad de células:

$$\text{Número de células totales} = \frac{S}{S_c} = \frac{700}{2.6} \text{ Km}^2 = 269.2 \approx 270 \text{ células}$$

Donde:

S = Área total

S_c = Área de la célula.

Esto significa que se necesitarán 270 estaciones base de la firma Ericsson pero para conocer el modelo a utilizar se debe seguir en los cálculos de tráfico y dimensionamiento.

Después de tener este dato se procede al cálculo de la cantidad de canales que soporta el sistema de la forma siguiente: Cantidad de canales = $C = 124 \times 8 = 992$ canales (pares).

Donde 124 es el número de portadoras en GSM y 8 es la cantidad de ranuras de tiempo que se tiene por utilizar TDMA (Time División Múltiple Access).

Ahora bien, como la telefonía digital, el factor de reutilización recomendado y ampliamente empleado en la industria a nivel internacional es $N = 4$ (4 estaciones bases con 4 portadoras por sector y tres sectores en cada estación base), será este el que utilicemos en el diseño. Este factor de reutilización está muy relacionado con un concepto empleado en los sistemas celulares denominado *cluster* o racimo, el cual consistirá en un grupo de estaciones bases enlazadas a un controlador de estación base y en este caso estará formado por las siguientes características:

- El racimo se constituye de 4 células hexagonales.
- Tres sectores por célula.
- Cuatro portadoras por sector.
- Cuatro portadoras por ocho canales en cada portadora es igual a 32 canales por sector.
- 32×3 sectores = 96 canales por célula.
- 96×4 células por racimo = 384 canales por racimo.

Después de haber calculado el número de canales de tráfico y teniendo la probabilidad de congestión del sistema, se realiza el cálculo de la intensidad del tráfico por célula, el cual se calcula, mediante una tabla Erlang-B GoS (ver anexo IV) aplicándose los parámetros anteriormente mencionados. Respecto a la Calidad de Servicio de la red de radio, se

considera una Probabilidad de bloqueo del 2%, lo que está acorde con las recomendaciones del estándar GSM y es una media de diseño de la industria.

Se puede considerar una estación base (BTS) con una capacidad promedio dada por tres sectores con cuatro Transceptores (TRX) por cada sector, lo que permitirá ofrecer una capacidad de cursar tráfico de voz de 20.2 Erlang por sector. Se considera el uso de una ranura de tiempo para señalización por cada transceptor (TRX), quedando $7 \times 4 = 28$ ranuras de tiempo para tráfico de voz por sector. El empleo de una ranura de tiempo para señalización por cada transceptor (TRX) permite optimizar el acceso a la red de radio de parte de los suscriptores.

Empleando la tabla GOS de Erlang B y una calculadora específica para tráfico llamada Calcucell (ver anexo V) donde se obtuvo el siguiente resultado:

$$A = B^{-1}(N - 4, P_r) = B^{-1}(32 - 4, 0.02) = B^{-1}(28, 0.02) = 20.2 \text{ Erlang/sector.}$$

Por lo tanto el tráfico por célula:

$$20.2 \text{ Erlang} \times 3 \text{ sectores} = 60.6 \text{ Erlang por célula}$$

Cantidad total de racimos en el sistema:

$$\text{Número de los racimos totales} = \frac{270}{4} = 67.5 = 67 \text{ racimos y } 2 \text{ células}$$

Oferta total de canales de tráfico:

$$N \times 992 \text{ Canales por racimo} = 4 \times 992 = 3968 \text{ canales}$$

Cantidad de móviles:

$$\text{Número de móviles por sector} = \frac{20}{0.025} = 808 \text{ móviles por sector}$$

$$\text{Número de móviles por célula} = 808 \times 3 = 2424 \text{ móviles por célula}$$

$$\text{Número de móviles por racimo} = 2424 \times 4 = 9696 \text{ móviles por racimo}$$

$$\text{Número de móviles totales} = (9696 \times 67) + (2424 \times 2) = 649632 + 4848 = 654480 \text{ móviles totales (suscriptores)}$$

Sabiendo que hay 4 estaciones de base por racimo, la cantidad total de estaciones de base que se van a emplear es:

Total de estaciones de base = 67 racimos $\times$ 4 células por racimo + 2 células = 270 estaciones de base. Se seleccionó la estación de base del tipo RBS 2206 que adecua las especificaciones deseadas (ver anexo II).

Cada estación base con el objetivo de tener una cobertura de 1 Km. de radio de la célula deberá radiar a una potencia isotrópica efectiva igual a:

$$P_{Tx} = L_D - V \text{ (dBm)}_{SBRx} - G_{SMRx} + L_{pRx}$$

$$P_{Tx} = 144.4 \text{ dB} - (-106 \text{ dBm}) - 10 + 2.5 = 30.9 \text{ dBm} \approx 31 \text{ dBm} = 1.26 \text{ W}$$

$$PIRE = P_{Tx} \times G_{SBTx} = P_{Tx} \text{ dBm} + G_{SBTx} \text{ dBi}$$

$$PIRE = 31 \text{ dBm} + 10 \text{ dB} = 41 \text{ dBm} = 12.6 \text{ W}$$

Como se conoce que cada transceptor (TRX) posee una antena y que un sector posee cuatro transceptores (TRXs) entonces habrá 4 antenas por sector y conociéndose que cada célula o estación base posee tres sectores se puede deducir que existen 12 antenas por células. Entonces:

$$\text{Número total de antenas} = 12 \text{ antenas por célula} \times 270 \text{ células totales} = 3240 \text{ antenas}$$

La cantidad de transceptores (TRXs) a utilizar es igual a la cantidad de antenas y también se toma en cuenta que en cada transceptor existen ocho canales.

Habiéndose calculado la cantidad de antenas que se utilizarán en el diseño se realizará un análisis del tráfico para así poder conocer la cantidad de controladores de estación base (BSC) necesarias en el mismo. Esta selección se realizará analizando las tablas con los parámetros que nos brinda la firma Ericsson como la que se verá a continuación.

Tabla 3.2 Características de los controladores de estación de base

Características	BSC 336	BSC 240	BSC 432	BSC 600
Número de transceptores	336	240	432	600
Capacidad de tráfico (Erlang)	1000	Hasta 2800	2800	2800
Terminales de señalización C7	8	8	8	12
Enlaces PCM de 2 Mbits/s	64	40	88	136
Capacidad del grupo de conmutadores	4k	16k	16k	16k
Consumo de energía (KW)	0.6	0.6	0.8	1.0
Peso (Kg)	250	300	400	450
Gabinetes	BASE0 + EXTENSION0	BASE2 + BASE5	BASE2 + BASE5 + EXTENSION0	BASE2 + BASE5 + EXTENSION5

Después de tomar en cuenta que el tráfico total es de 16362 Erlang y que el número de transceptores deseados es igual a 3240, se escogen seis controladores de estación base del tipo BCS 600 con características descritas en la Tabla 3.1.

Capacidad total de tráfico que gestionan los controladores:

Seis controladores de estación de base por Erlang = 16800 Erlang.

El número total de transceptores a utilizar es igual a 12 transceptores por célula por 270 células que sería igual a 3240 transceptores.

El total de transceptores disponibles por controlador de estación de base es igual a seis controladores de estación base por 600 transceptores siendo esto igual a 3600 transceptores. Se cuenta para un crecimiento del sistema con respeto al tráfico y cantidad de transceptores de:

16800 Erlang disponibles menos 16362 Erlang a utilizar que sería igual a 438 Erlang.

Los números de transceptores disponibles por controlador de estación base (no utilizados) sería igual a (3600 que es la cantidad disponible de los seis controladores de estación base menos 3240 que son los disponibles que presentan las estaciones base) dando como resultado 360 transceptores denominados también radios.

Etapas II

En esta etapa es donde se realizará una prueba en el terreno o lugar que se desea diseñar y se le llama *CW Test* o prueba de onda continua. Esta prueba es aplicada a través de un *Drive Test*, el cual realiza un análisis de propagación del sitio a diseñar y nos brinda una idea de la intensidad de la señal recibida en varios lugares desde un punto de referencia fijado. Mediante esta medida se estudian las características existentes del terreno con respecto a los parámetros que influyen sobre la propagación de señales portadoras como los obstáculos no deseados.

Este procedimiento se realiza al colocar un transmisor a la altura de una antena de radiofrecuencia y se transmite a una potencia cercana a -95 dB, se mide desde un vehículo en movimiento y también estacionado evaluándose las diferentes intensidades de señal recogidas contra una escala de calidad de cero (excelente) a siete (muy mal). Esto les indica a los ingenieros de radiofrecuencia la potencia adecuada que se puede aplicar para poder obtener una cobertura específica. Las herramientas del análisis de propagación que se utilizan son los *softwares* “*Planet, iPlanner y Odyssey*”.

Etapas III

En esta etapa se realizara con ayuda de los *softwares Planet, iPlanner y Odyssey* el ajuste del modelo de propagación según la morfología del terreno (rural, urbano, suburbano).

Este procedimiento se realiza para poder mejorar la cobertura de las células evitándose obstáculos en la línea de vista. A veces no se puede alterar el terreno para lograr ciertas respuestas que lo definen, por lo tanto el ajuste del modelo nos brinda la oportunidad de manipular otros parámetros tales como línea de vista (LOS), diversidad, reflexión pues estas pueden mejorar o empeorar la recepción de la señal.

Etapas IV

En esta cuarta etapa se rediseña el sistema realizándose el *Link Budget* con los datos obtenidos en las pruebas realizadas anteriormente. Mediante el análisis de estos resultados se facilita el conocimiento de las medidas que se tomarán para poder afrontar y manipular los parámetros principales del terreno en función de lograr un subsistema eficiente. El conteo de los sitios y estaciones de base corresponde mucho con la compra del

equipamiento a instalar. Se tienen que seleccionar las estaciones base que para que puedan adecuar el tráfico que se va a manejar por el subsistema. Las características de las estaciones base son muy selectivas debido a la alta tecnología que ofrecen compañías tales como Nortel Network y Ericsson. Sin embargo se debe realizar la compra tomando en cuenta un presupuesto económico y fiable. Las estaciones base se limitan por la cantidad de suscriptores y radios que pueden soportar y el tráfico que estas pueden gestionar. Por lo tanto las que se instalan deben cumplir satisfactoriamente con las especificaciones del tráfico.

Para el diseño del *Link Budget* y para que su funcionamiento sea el más adecuado se deben seguir los pasos que en el capítulo anterior se explicaron y los mismos se exponen a continuación.

- 1- Estimar la Potencia Isotrópica Radiada Efectiva: este dato será tomado de las mediciones realizadas a través del *Drive Test* que se realizó en las etapas anteriores y para este ejercicio asumiremos una Potencia Isotrópica Radiada Efectiva (PIRE) de 19.49 Watt .

- 2- Determinar la sensibilidad del receptor y la figura de ruido del sistema: para esto se calculó la sensibilidad de la siguiente manera,

$$\begin{aligned} V \text{ (dBm)} &= C/I \text{ (dB)} + 10 \text{ Log } B \text{ (Hz)} + F_R - 174. \\ &= 9 + 10 \text{ Log } (200 \times 10^3) + 6 - 174 \\ &= -106 \text{ dBm.} \end{aligned}$$

Donde:

V: Es la sensibilidad.

C/I: Es la relación portadora/interferencia.

B: Ancho de banda.

F_R : Es la figura de ruido del sistema que fue asumida con un valor de seis.

- 3- Determinar las pérdidas de trayecto máximas permisibles basadas en los resultados de los pasos uno y dos.

Para el enlace ascendente (de estación móvil a estación base) sería:

$$\begin{aligned} L_A &= \text{PIRE}_{SM} - V \text{ (dBm)}_{SBRx} + G_{SBRx}. \\ &= 23 \text{ dBm} - (-106 \text{ dBm}) + 10 \text{ dB} = 139 \text{ dB} \end{aligned}$$

Para el enlace descendente (de estación base a estación móvil) sería:

$$L_D = \text{PIRE}_{SB} - V(\text{dBm})_{\text{SMRx}} + G_{\text{SMRx}} \\ = 41 \text{ dBm} - (-106 \text{ dBm}) + 10 \text{ dB} = 156 \text{ dB}$$

Donde:

L_A : Son las pérdidas en el enlace ascendente.

PIRE_{SM} : Potencia Isotrópica Radiada Efectiva en la estación móvil.

PIRE_{SB} : Potencia Isotrópica Radiada Efectiva en la estación base.

$V(\text{dBm})_{\text{SBRx}}$: Sensitividad del receptor del receptor en la estación base.

$V(\text{dBm})_{\text{SMRx}}$: Sensitividad del receptor en la estación móvil.

G_{SBRx} : Ganancia del receptor en la estación base.

G_{SMRx} : Ganancia del receptor en la estación móvil.

Se puede ver como en el enlace descendente al tener el transmisor en la estación base con mayor frecuencia este admite mayor pérdida, no siendo así en el enlace ascendente.

- 4- Comparar las pérdidas de los dos enlaces y determinar el enlace limitante.

Al comparar los dos enlaces se puede observar que el enlace que limita la pérdida es el ascendente pues es el que percibe mayores pérdidas.

- 5- Determinar el margen de desvanecimiento.

Para determinar el margen de desvanecimiento se utilizará la función NORMINV en Excel [8] debido a que el desvanecimiento se comporta como una distribución normal y su sintaxis será:

$$\text{NORMINV} [P(z), \mu, \sigma] = \text{NORMINV} [0.80, 15, 8] = 21.73 \text{ dB}.$$

Donde:

$P(z)$ es la probabilidad de cobertura en el borde de la célula.

μ son las pérdidas en el medio urbano.

σ es la desviación estándar.

Entonces se necesita un margen adicional 21.73 dB por contar con una variabilidad en el ambiente de radiofrecuencia y pérdidas de penetración.

- 6- Se toma una herramienta que utilice los modelos de propagación (*software*) para estimar cual será el radio de la célula.

Etapa V

Esta etapa no es de interés en este ejercicio pues es donde los especialistas de adquisición adquieren el sitio realizándose los análisis económicos y de construcción.

Etapa VI

En esta etapa los ingenieros presentan las hojas de datos de las antenas, cables coaxiales y sus orientaciones las que servirán para hacer un conteo del material que se utilizará para el diseño.

Etapa VII

Después que los ingenieros presentan sus hojas de datos seguirá la etapa de planificación de la frecuencia y analizándose que en este caso de estudio se toma un área total del sitio de 700 Km^2 y al conocer que un plan de frecuencia en esta área sería muy extenso se decidió tomar una muestra de 117 Km^2 con un radio de célula de $R = 1.23 \text{ Km}$. para poder ejemplificar como se realiza esta etapa.

Plan de frecuencia del sistema GSM.

En este sistema como se ha dicho anteriormente se ha escogido un racimo de $J = 4$ celdas para la reutilización de la frecuencia. En la mayoría de los casos cada celda está sectorizada en sectores de 120 grados con tres repetidores base en cada celda (tres sectores). El racimo sectorizado se ilustra en la figura 1. Para una mejor comprensión se han situado las estaciones base (BTS) en el centro de cada celda, en la práctica estas se sitúan de tal forma que haya tres celdas hexagonales y no una como en este caso con el objetivo de conseguir una mayor eficacia en el uso de las frecuencias y evitar interferencias.

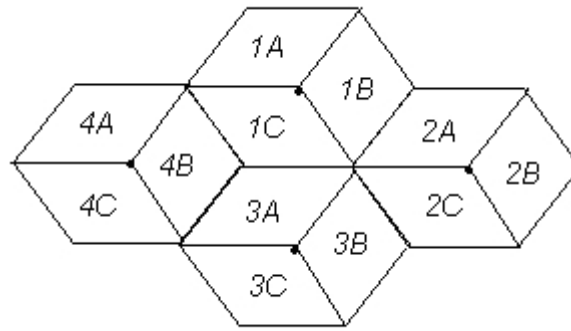


Figura 3.1 Racimo sectorizado del sistema GSM.

En cada sector hay una estación base que totalizan 12 estaciones base y son controladas por un controlador de estación base (BSC). Para lograr la separación óptima de frecuencia dentro del mismo sector, se asignan al sector k -ésimo los canales:

$$k; k + J_s; k + 2J_s; \dots k + nJ_s$$

donde J_s es el número de sectores. Para $J_s = 12$, se tiene que:

$$k; k + 12; k + 24; \dots k + n12$$

En la tabla 1 se muestra la asignación de los canales a los diferentes sectores. Esta composición se denomina 4/12. Existe otro plan de frecuencia donde el racimo tiene 3 celdas y 3 sectores por celda y se denomina 3/9. La composición 3/9 sigue la misma ley aquí descrita para el plan de asignación de canales que en el caso 4/12.

Tabla 3.3 Asignación de canales del sistema GSM en celdas sectorizadas

1(A) k=1	2(A) k=2	3(A) k=3	4(A) k=4	1(B) k=5	2(B) k=6	3(B) k=7	4(B) k=8	1(C) k=9	2(C) k=10	3(C) k=11	4(C) k=12
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48
49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72
73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84
85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96
97	98	99	100	101	102	103	104	105	106	107	108
109	110	111	112	113	114	115	116	117	118	119	120
121	122	123	124	-	-	-	-	-	-	-	-

Es importante aclarar que el número de radiocanales por celda depende del tipo de técnica de acceso utilizada. Como se conoce los sistemas móviles celulares son sistemas de pérdida, por lo tanto, se utilizan las tablas de Erlang-B para el cálculo del número de radiocanales (para un tráfico estimado y un GoS específico). Por ejemplo, si el cálculo del número de radiocanales arroja que son necesarios tres radiocanales por sector, entonces el sector 1A utilizaría las frecuencias 1, 13 y 25 si la técnica de acceso es FDMA. Por su parte, si la técnica de acceso fuera TDMA (Time Division Multiple Access) solo se necesitaría la frecuencia uno (tomando el estándar de ocho ranuras de tiempo/frecuencia).

Si se toma la muestra del sistema móvil celular que se está diseñando en esta zona urbana de 117 (13.9). De acuerdo con los estudios de tráfico, la zona de servicio se ha dividido en cuadrículas y el número que aparece indica el tráfico ofrecido en Erlangs (ver figura 3.2).

Este número se ha obtenido tomando en cuenta la densidad poblacional, el número de vehículos a la hora de mayor tránsito y se supone que la llamada promedio tenga una duración de 1,5 minutos, es decir 25 mErlang por móvil/promedio. Por cálculos de radio propagación (utilizando el método de Okumura-Hata) se ha obtenido que el radio de la celda sea igual a 1,23 Km.

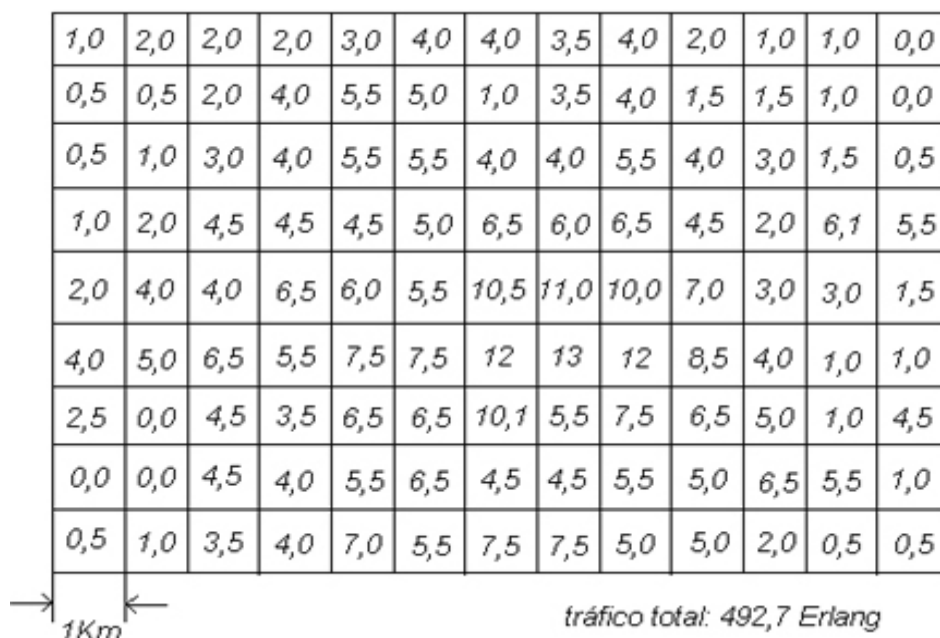


Figura 3.2 Cuadrícula de tráfico.

Ahora necesitamos conocer el número de celdas necesarias para cubrir la zona y su cubrimiento. Además se debe determinar el número de radiocanales por celda si se utilizan celdas omnidireccionales y se utiliza un sistema de acceso FDMA y $\text{GoS} = 2\%$ y determinar el número de radiocanales por celda si se utilizan celdas omnidireccionales y si se utiliza un sistema de acceso TDMA con 8 ranuras de tiempo y $\text{GoS} = 2\%$.

Solución:

1. Como sabemos el área de la celda se puede escribir como:

$$A_{\text{celda}} = \frac{3\sqrt{3}}{2} R^2 = \frac{3\sqrt{3}}{2} (1,23)^2 = 3,93 \text{ Km}^2$$

El cubrimiento celular se muestra en la figura 3.3.

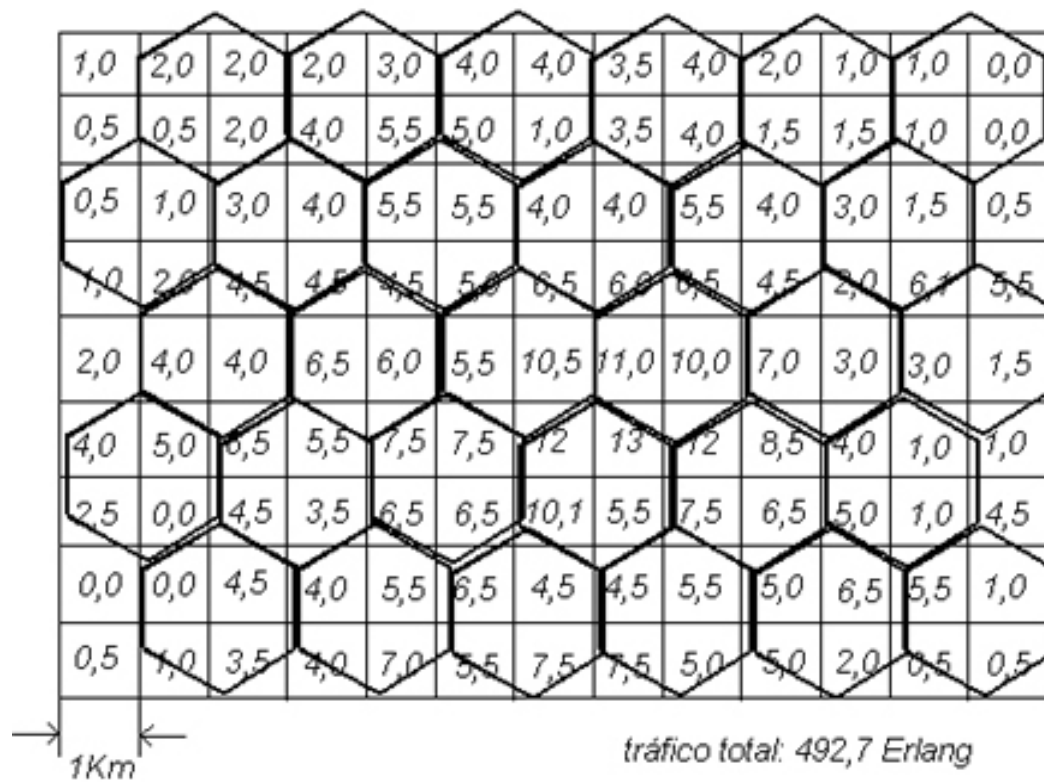


Figura 3.3 Cubrimiento celular.

Para el cálculo del número de radiocanales se utiliza la fórmula de Erlang-B y los resultados se muestran en la tabla 3.2 para un GoS = 2 %.

Tabla 3.4 Número de radiocanales para el caso FDMA y TDMA.

Número de celda	Tráfico (Erlang)	Nr (FDMA)	Nr (TDMA)
1	6,5	12	2
2	14,5	23	3
3	14,0	23	3
4	15,0	23	3
5	6,0	12	2
6	2,0	6	1
7	3,5	9	2
8	16,0	24	3
9	20,5	30	4
10	20,5	30	4
11	20,5	30	4
12	12,6	20	3
13	19,5	28	4
14	19,5	28	4
15	35,5	45	6
16	45	57	8
17	21,5	30	4
18	6,5	12	2
19	2,5	7	1
20	16,5	25	4
21	25	35	5
22	24,6	34	5
23	24,5	34	5
24	19	28	4
25	4,5	10	2
26	11	18	3
27	13	21	3
28	12,5	20	3
29	7	13	3
30	1	5	1

Etapas VIII

Después en la etapa de construcción se realizará una supervisión por parte de los ingenieros en telecomunicaciones y de radiofrecuencias para asegurar que los parámetros propuestos se hayan cumplido durante la construcción de los sitios pero al ser esta una etapa que se realiza en el terreno, para el ejercicio propuesto no será tomado en cuenta, asumiendo que el sitio será construido correctamente.

Etapas IX

Después de estar todo el sistema emplazado se necesita hacer un barrido de frecuencia el cual se realizará con una herramienta llamada “*SiteMaster*”, para probar la eficiencia y efectividad de los alimentadores de las antenas o la orientación de las mismas y servirá para detectar roturas, pérdidas no aceptables u otras anomalías que afecten que las antenas radien a máxima potencia, esto se realiza en el terreno.

Etapas X

La predicción de las interferencias es una etapa importante para mantener la calidad y seguridad del sistema y la forma en que se realiza fue explicada en el capítulo anterior siendo esta también una prueba que se realiza después de construido el sitio en el terreno utilizándose un sistema computarizado llamado “*Spectrum Analyzer*” o Analizador de Espectro.

Etapas XI

Esta etapa fue explicada en el capítulo anterior, siendo imposible realizar en el ejercicio esta prueba pues esta se realiza en el terreno y por no contar además el país con el equipamiento que se necesita para el mismo.

Conclusiones



CONCLUSIONES

Después de un recorrido por los sistemas digitales de comunicación móvil, especialmente por GSM (Global System for Mobile Communications), se puede obtener una clara idea de la necesidad de realizar diseños óptimos que brinden un alto porcentaje de fiabilidad en el comienzo y a través de la explotación del mismo, siendo la etapa de diseño una de las más importantes cuando se crea el sistema. Consideraciones de diseño que sean bien establecidas darán al sistema una robustez y rentabilidad a la vez que reducirán los costos, no sucediendo lo mismo en los sistemas con un diseño deficiente por causa de las pérdidas que pudieran ocurrir o por un mal dimensionamiento del mismo. Por lo anterior dicho las consideraciones para el diseño de los subsistemas de estación base en entornos GSM (Global System for Mobile Communications) que en este trabajo se han propuestos deben ser ejecutadas con un gran rigor para que una red o sistema funcione eficientemente pues las consideraciones aquí planteadas han sufrido una serie de análisis y selecciones para dejar solamente las mas importantes e imprescindibles concluyendo que una violación de una de ellas en un diseño aseguraría el fracaso de la eficiencia del sistema.

Recomendaciones



RECOMENDACIONES

Después de haberse realizado una amplia investigación y conociéndose que el mundo de las telecomunicaciones va evolucionando a gran velocidad se recomienda:

1. Dar seguimiento a este trabajo diploma en años posteriores para seguir de cerca la evolución de estas tecnologías.
2. Al ser esta tecnología una realidad en nuestro país se le debe prestar más atención y aumentar la cantidad de horas impartidas en los sistemas celulares.
3. Hacer una propuesta a la empresa de telecomunicaciones en el país para una posible aplicación del mismo con el objetivo de optimizar las comunicaciones.
4. Se propone la adquisición de las herramientas o software como TEMS, MapInfo y demás herramientas que realizan análisis de propagación, pues estas, aunque son costosas son las responsables de la efectividad de los resultados realizando las mediciones en el terreno y brindando los datos con un margen de error casi nulo.

Referencia Bibliográfica



REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

1. GSM Introduction, Manual Ericsson, Ericsson Radio System AB, 1998.
2. Hernando, José María Rábanos, “Transmisión por radio”, vol. 2.
3. Radio comunicaciones y fibra óptica, disponible en, www.radioptica.com/Radio/gsm.asp , consultado el, 10/01/05.
4. Balanis, C.A., “Antennas Theory: A Review,” Proc. IEEE, vol. 80, No. 1, January 1992.
5. Okumura, Y., Ohmori, E., Kawano, T., and Fukuda, K., “Field Strength and Its Variability in VHF and UHF Land-Mobile Radio Service,” Review of the Electrical Communication Laboratory, vol. 16, No. 9-10 Sept-Oct., 1968.
6. Hata, M., “Empirical Formula for Propagation Loss in Land Mobile Radio Services,” IEEE Trans. Veh. Technol., vol. VT-29, pp. 315-325 August 1980.
7. Walfisch, J. and Bertoni, H.L., “A Theoretical Model of UHF Propagation in Urban Environments,” IEEE Trans. Veh. Technol., vol. 36, No. 12, Dec. 1988, pp. 1788-1796.
8. AMPS/TDMA System Design Fundamentals, Northern Telecom/99.
9. Ericsson, “TEMS Drive Tester GSM 2.0”, disponible en, www.ericsson.com/services/tems/downloads/TEMS_DriveTester_GSM_2.0.pdf, consultado el, 13/02/05.
10. Chu, T.S., and Greenstein, L.J., “A Quantification of Link Budget Difference Between Cellular and PCS Bands,” IEEE Trans. Veh. Technol., vol. 48, No. 1, pp. 60-65, January 1999.
11. Low, K., “Comparison of Urban Propagation Models with CW-Measurements,” IEEE VTS 42nd Conf. Proceedings, Denver, CO, May 1992, pp. 936-942.
12. AIRCOM International, “GSM System Overview” disponible en, www.aircom.co.uk, consultado el, 02/05/005.
13. Langdon, David (Nortel Networks), “Nortel Network Taiwan GSM overview”, 2000.

Anexos



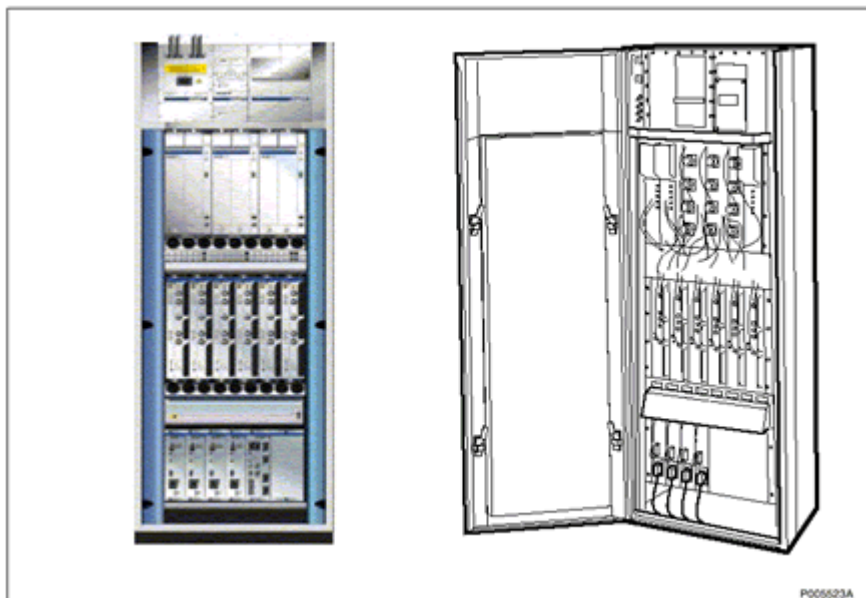
Anexo I

Canales utilizados en GSM y sus funciones

Tipo de canal	Denominación		Descripción
Canales de Tráfico (Traffic Channel-TCH)	TCH/FS		S: Voz (Speech) 9.6: Datos a 9600 bps.
	TCH/F9.6		4.8: Datos a 4800 bps 2.4: Datos a 2400 bps.
	TCH/F4.8		F: Full Rate. La información de un usuario se envía en una ranura de tiempo, en cada trama.
	TCH/F2.4		
	TCH/HS		H: Half Rate. La información de un usuario se envía en una ranura de tiempo, trama de por medio. Dos usuarios comparten una misma ranura en diferentes instantes de tiempo.
	TCH/H4.8		
	TCH/H.24		
Canales de Control (Control Channel-CCH)	Canales de Broadcast (Broadcast Channels) -BCH-	BCCH	Canales de control utilizados para permitir el enganche de los móviles y el monitoreo de las potencias de los móviles en celdas vecinas (MAHO).
		FCCH	
		SCH	
	Canales Comunes de Control (Common Control Channels) -CCCH-	PCH	Estos canales permiten el establecimiento de las llamadas y la asignación de canales de control.
		RACH	
		AGCH	
	Canales de Control Dedicados (Dedicated Control Channels) -DCCH-	SDCCH	Canales de control bidireccionales utilizados para prestar los servicios de señalización y supervisión al usuario.
		SACCH	
		FACCH	

Anexo II

RBS 2206



La RBS 2206 es una radio base para interior que soporta hasta 12 transmisores-receptores por gabinete. Se puede utilizar en configuraciones de 1, 2 y 3 sectores incluyendo banda doble 900/1800.

Parte del concepto Crecimiento-en-Sitio

Debido a que es cada vez más difícil encontrar sitios para las radios bases, es de especial interés permanecer en los mismos sitios el mayor tiempo posible. Ya que el espacio también es un factor limitante en el sitio, la poderosa RBS 2206 resuelve este problema. En sitios existentes, dos o más gabinetes pueden remplazarse por una RBS 2206 (de misma área base), resolviendo así el problema de espacio dando lugar para otro gabinete.

Capacidad Doble

Las unidades transmisor-receptor dobles (dTRU) tienen algunas poderosas características. Tiene potencia de salida 1 dB mayor que el resto de la familia RBS 2000. Esto se traduce en un 15% menos sitios debido a la distancia sitio-a-sitio mayor. El rango extendido llega a ser de 121 Km. Tiene dos nuevos combinadores extremadamente flexibles.

Preparados para el futuro

La RBS 2206 soporta EDGE. Un distribuidor mejorado DXU y buses internos veloces garantizan este soporte totalmente. El DXU está preparado para interfaces Abis basadas en IP. Con la característica opcional correspondiente de BSS, es posible tener hasta 32 TRU en una celda.

Características Importantes:

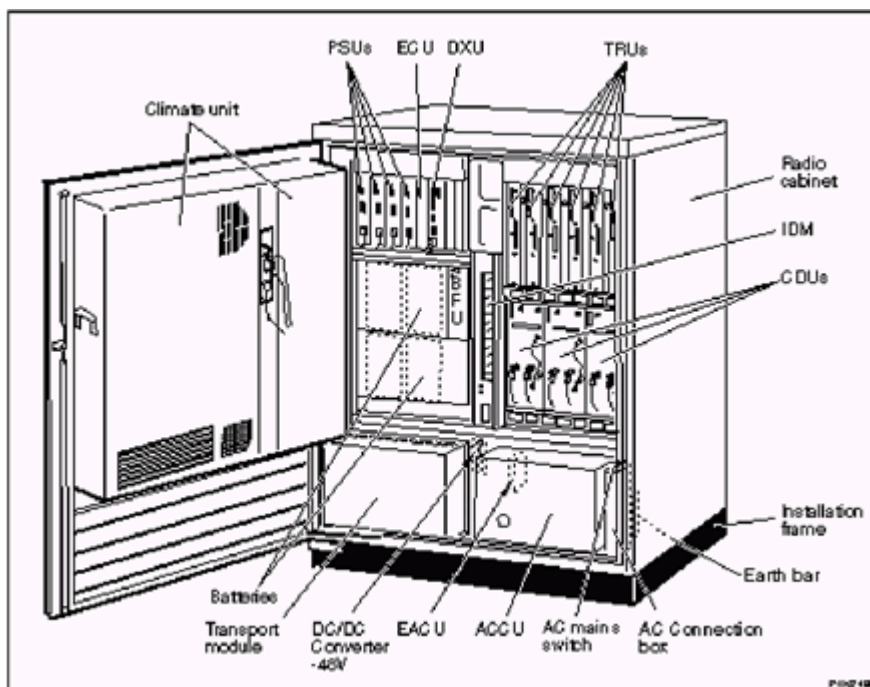
- Seis transmisores-receptores dobles (dTRU), o sea, 12 TRUs.
- Combinación híbrida y de filtro para 1, 2 y 3 sectores en un gabinete.
- Mejor potencia de salida que la RBS 2202.
- Salto de frecuencia sintetizada y de banda base.
- Soporta 12 TRUs EDGE en todos los slots de tiempo.
- Rango extendido 121km.
- Duplexor y TMA para todas las configuraciones.
- Cuatro puertos de transmisión soportando 8 Mbits/s.
- Opcionalmente, incluye equipo de transmisión integrado.
- Preparado para interfaz Abis basada en IP.
- Preparada para Posicionamiento Móvil asistido por GPS.

Especificaciones Técnicas:

Banda de Frecuencia	E-GSM 900, GSM 1800, GSM 1900
Tx:	925-960, 1805-1880 o 1930-1990 MHz
Rx:	880-915, 1710-1785 O 1850-1910 MHz
Número de Transceivers	2-12
Número de Sectores	1-3
Dimensiones (Alto x Ancho x Profundo)	1850 x 600 x 400 mm
Peso sin baterías	230 Kg. equipada completamente
Potencia al alimentador de la Antena	35 W / 45.5 dBm (GSM 900) 28 W / 44.5 dBm (GSM 1800 y GSM 1900)
Sensitividad del Receptor	<= -110 dBm (sin TMA)
Suministro de Energía	120-250 V AC, 50/60 Hz -48 / -72 V DC, +24 / +29 V DC
Batería de respaldo integrada	Opcional Externa
Temperatura de Operación	+5°C - +40°C

Anexo II (continuación).

RBS 2102- Estación base de la firma Ericsson:



La RBS 2102 es una RBS para exterior que soporta hasta seis transmisores-receptores por gabinete. Se puede utilizar en configuraciones de 1, 2 y 3 sectores. La RBS 2102 es normalmente montada en piso o en azoteas y provee un gabinete durable, resistente y a prueba de agua. Soporta una batería de respaldo integrada, para una configuración de seis TRUs de hasta cuatro horas.

Características Importantes:

- Seis transmisores-receptores.
- Desempeño Superior de Radio.
- Implementación Rápida.
- Ambiente exterior.
- Resistente presentación.
- Opcionalmente, incluye equipo de transmisión integrado.
- Salto de frecuencia (Frequency hopping).
- Codificación de voz en Full y Half Rate.

Anexo II (continuación).

- Soporta Amplificadores montados en torre.
- Batería de respaldo integrada y opcional externa.
- Soporta HCS.
- Soporta GPRS, HSCSD, datos de 14.4 Kbits/s.
- Soporta DXX y Mini DXC.
- Soporta equipo de microonda (MINI-LINK de Ericsson).
- Soporta GSM extendido.
- Doble Banda.

Especificaciones Técnicas:

Banda de Frecuencia	E-GSM 900, GSM 1800, GSM 1900
Tx:	925-960, 1805-1880 o 1930-1990 MHz
Rx:	880-915, 1710-1785 O 1850-1910 MHz
Número de Transceivers	1-6
Número de Sectores	1-3
Interfaz de Transmisión	1.5 Mbits/s (T1), 2 Mbits/s (E1)
Dimensiones (Alto x Ancho x Profundo)	1614 x 1300 x 710 mm
Peso sin baterías	480 kg
Potencia al alimentador de la Antena	28 W / 44.5 dBm (GSM 900) 22 W / 43.5 dBm (GSM 1800 y GSM 1900)
Sensitividad del Receptor	<= -110 dBm
Suministro de Energía	100-127 / 200-250 V AC, 50/60 Hz
Batería de respaldo integrada	Típica, 4 horas (totalmente equipada)
Temperatura de Operación	-33°C - +45°C
Protección contra Agua	Nivel Mínimo IP55 en IEC 529

Anexo II (continuación).

BSC/TRC- Controlador de estación base de la firma Ericsson:

Nuevo Hardware AXE la nueva plataforma de hardware AXE en la cual el BSC está basado, provee nuevos beneficios para el operador, principalmente en área base. Menor área base facilita la adquisición de los sitios, se traduce también en instalaciones más fáciles y rápidas, menor consumo de energía, menores costos de operación y mantenimiento, etc.

Características Clave:

- Área base reducida.
- Consumo de Energía reducido.
- Alta capacidad.
- Modularidad y flexibilidad en la topología de la red.
- Costos reducidos de transmisión.
- Expansiones fáciles (sólo añadir el gabinete).
- Control remoto.
- Reducción de costos de O&M y refacciones (menor hardware, menos tipos de tarjetas).
- Menores tiempos de entrega e instalación (pre-equipado y pre-probado directamente al sitio).
- Mayor confiabilidad.
- Compatible con la Clase B de EMC.

Topologías BSS

El nuevo portafolio de productos BSC permite topologías de red flexibles, económicas e innovativas:

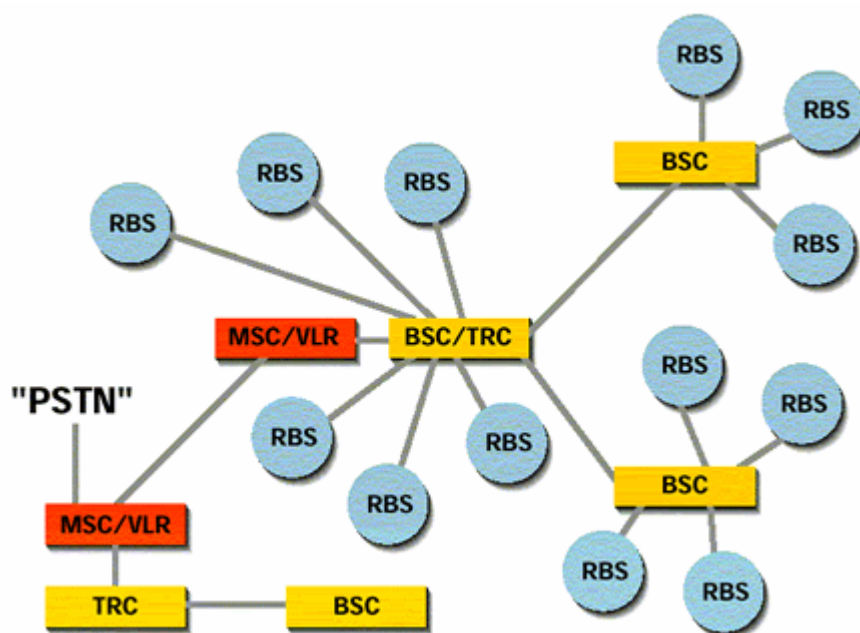
- El BSC está optimizado para redes rurales y áreas suburbanas. Es típicamente localizado cerca de las radio bases para reducir costos de transmisión.
- El BSC/TRC es adecuado para redes de área urbana y suburbana. Hasta 15 BSC pueden conectarse a un nodo BSC/TRC y compartir los mismos recursos del TRC.
- Un nodo TRC permite una localización flexible de los recursos del transcoder. Hasta 16 BSCs se pueden conectar a un TRC para compartir los recursos del transcoder.

Anexo II (continuación).

Configuraciones

El BSC se basa en gabinetes estándar, los cuales son entregados pre-equipados y pre-probados directamente al sitio.

Procesadores APZ 212 25 e interfaz IOG 20C se incluyen en todas las configuraciones. Un Switch de grupo (group switch) de 4K se incluye en las configuraciones de baja capacidad. Para un BSC/TRC de alta capacidad, se necesita un group switch de 16K. Las extensiones se logran añadiendo gabinetes o magazines de extensión.



Al combinar los beneficios de tres productos, se puede construir la solución de BSS más flexible del mercado.

Anexo II (continuación).

Especificaciones Técnicas de los controlador de Estaciones Base (BSC) del Sistema GSM Ericsson con interfaz ETSI de 2Mbits/s.

Características	BSC 600	BSC 768	BSC 960	BSC 1020
Número de Transceivers	600	768	960	1020
Capacidad de Tráfico (Erlangs)	2800	2800	2800	2800
Terminales de señalización C7	12	16	16	16
Enlaces PCM de 2 Mbits/s	136	184	232	280
Capacidad del Group Switch	16K	16K	16K	16K
Consumo de Energía (kW)	1,0	1,2	1,4	1,6
Peso (kg)	450	600	650	750
Gabinets	BASE2+	BASE2+	BASE2+	BASE2+
	BASE5+ EXTENSION5	BASE5+ EXTENSION0+ EXTENSION5 2	BASE5+2 EXTENSION5	BASE5+ EXTENSION0+ EXTENSION5

Características	BSC 600	BSC 768	BSC 960	BSC 1020
Número de Transceivers	600	768	960	1020
Capacidad de Tráfico (Erlangs)	2800	2800	2800	2800
Terminales de señalización C7	12	16	16	16
Enlaces PCM de 2 Mbits/s	136	184	232	280
Capacidad del Group Switch	16K	16K	16K	16K
Consumo de Energía (kW)	1,0	1,2	1,4	1,6
Peso (kg)	450	600	650	750
Gabinets	BASE2+	BASE2+	BASE2+	BASE2+
	BASE5+ EXTENSION5	BASE5+ EXTENSION0+ EXTENSION5 2	BASE5+2 EXTENSION5	BASE5+ EXTENSION0+ EXTENSION5

Anexo III

Ejemplo de equipamiento Nortel Networks, Controlador de estación base (BSC) 3000 conocido como: *Univity Base Station Controller e3 (BSCe3)*



Características:

Alta capacidad, conectividad y flexibilidad: puede incrementar su tráfico desde 600 Erlangs hasta 3000 Erlangs.

Alta fiabilidad - Arquitectura de tolerancia de fallos y redundancia completa.

Bajo costo de propiedad – Plataforma fiable y mantenimiento fiable.

Anexo III (continuación).

Ejemplo de equipamiento Nortel Networks, Estación base (BTS) conocido como:
Univerty GSM S12000 BTS



Technical Specifications:		Indoor	Outdoor
Frequency range		900 MHz GSM / 900 MHz Extended GSM 1800 MHz GSM and Dual Band GSM 900 / 1800 850 MHz GSM 1900 MHz GSM and Dual Band GSM 850 / 1900	
Receive sensitivity	w/o diversity with diversity	-110 dBm guaranteed (w/o TMA) -115 dBm guaranteed (w/o TMA)	
Dimensions	Height Width Depth	1950 mm 910 mm 450 mm	1910 mm 1350 mm 650 mm
Weight	Empty cabinet Fully equipped	170 kg 415 kg	200 kg 570 kg
Capacity	Standard Future option	12 TRX per radio cabinet Up to 3 radio cabinets Up to 4 radio cabinets	
Configuration	Monoband Trisectorial Dual Band Trisectorial Cell Splitting	Up to S16-16-16 (4 radio cabinets) S222_222 (1 radio cabinet) Mono-BCCCH dual band cells Cell splitting across radio cabinets	
Amplifier output power	Standard Optional	30W (+/- 0.5 dB) GMSK 30W (+/- 0.5 dB) 8-PSK EDGE 60W (+/- 0.5 dB) GMSK* 45W (+/- 0.5 dB) 8-PSK	
Transmission coupling		All coupling configurations From Duplexers to 4 Ways Hybrid Coupling (H4D)	
Power control	Static Dynamic	6 steps of 2 dB 15 steps of 2 dB	
Space for customer Equipment Frequency Hopping		NA	6U RF Synthesised
Supported vocoders		Full Rate (FR) Enhanced Full Rate (EFR) Adaptive Multi-Rate - Full Rate (AMR FR) Adaptive Multi-Rate - Half Rate (AMR HR)	
Encryption algorithms		A5/1 & A5/2	
Power supply	Nominal	DC -48 V Single, single-split or tri-phase 230V (50/60Hz) AC Integrated battery backup Optional ancillary battery cabinet	
Operational temperature range		-5°C to +45°C	-40°C to +50°C
Max acoustic noise		65 dB(A)	
Backhaul	Standard Future option	6 E1 / T1 links 8 E1 / T1 links	

Anexo IV

Tabla Erlang-B GoS

N	P.01	P.012	P.015	P.02	P.03	P.05	P.07	P.10
1	0.0101	0.0121	0.0152	0.0204	0.0309	0.0526	0.0753	0.111
2	0.153	0.168	0.19	0.223	0.282	0.381	0.47	0.595
3	0.455	0.489	0.535	0.602	0.715	0.899	1.06	1.27
4	0.869	0.922	0.922	1.09	1.26	1.52	1.75	2.05
5	1.36	1.43	1.52	1.66	1.88	2.22	2.5	2.88
6	1.91	2	2.11	2.28	2.54	2.96	3.3	3.76
7	2.5	2.6	2.74	2.94	3.25	3.74	4.14	4.67
8	3.13	3.25	3.4	3.63	3.99	4,54	5	5.6
9	3.78	3.92	4.09	4.34	4.75	5.37	5.88	6.55
10	4.46	4.62	4.81	5.08	5.53	6.22	6.78	7.51
11	5.16	5.32	5.54	5.84	6.33	7.08	7.69	8.49
12	5.88	6.05	6.29	6.61	7.14	7.95	8.61	9.47
13	6.61	6.8	7.05	7.4	7.97	8.83	9.54	10.5
14	7.35	7.56	7.82	8.2	8.8	9.73	10.5	11.5
15	8.11	8.33	8.61	9.01	9.65	10.6	11.4	12.5
16	8.88	9.11	9.41	9.83	10.5	11.5	12.4	13.5
17	9.65	9.89	10.2	10.7	11.4	12.5	13.4	14.5
18	10.4	10.7	11	11.5	12.2	13.4	14.3	15.5
19	11.2	11.5	11.8	12.3	13.1	14.3	15.3	16.6
20	12	12.3	12.7	13.2	14	15.2	16.3	17.6
21	12.8	13.1	13.5	14	14.9	16.2	17.3	18.7
22	13.7	14	14.3	14.9	15.8	17.1	18.2	19.7
23	14.5	14.8	15.2	15.8	16.7	18.1	19.2	20.7
24	15.3	15.6	16	16.6	17.6	19	20.2	21.8
25	16.1	16.5	16.9	17.5	18.5	20	21.2	22.8
26	17	17.3	17.8	18.4	19.4	20.9	22.2	23.9
27	17.8	18.2	18.6	19.3	20.3	21.9	23.2	24.9
28	18.6	19	19.5	20.2	21.2	22.9	24.2	26
29	19.5	19.9	20.4	21	22.1	23.8	25.2	27.1
30	20.3	20.7	21.2	21.9	23.1	24.8	26.2	28.1
31	21.2	21.6	22.1	22.8	24	25.8	27.2	29.2
32	22	22.5	23	23.7	24.9	26.7	28.2	30.2
33	22.9	23.3	23.9	24.6	25.8	27.7	29.3	31.3
34	23.8	24.2	24.8	25.5	26.8	28.7	30.3	32.4
35	24.6	25.1	25.6	26.4	27.7	29.7	31.3	33.4
36	25.5	26	26.5	27.3	28.6	30.7	32.3	34.5

Anexo IV (continuación).

Tabla Erlang-B GoS

N	P.01	P.012	P.015	P.02	P.03	P.05	P.07	P.10
37	26.4	26.8	27.4	28.3	29.6	31.6	33.3	35.6
38	27.3	27.7	28.3	29.2	30.5	32.6	34.4	36.6
39	28.1	28.6	29.2	30.1	31.5	33.6	35.4	37.7
40	29	29.5	30.1	31	32.4	34.6	36.4	38.8
41	29.9	30.4	31	31.9	33.4	35.6	37.4	39.9
42	30.8	31.3	31.9	32.8	34.3	36.6	38.4	40.9
43	31.7	32.2	32.8	33.8	35.3	37.36	39.5	42
44	32.5	33.1	33.7	34.7	36.2	38.6	40.5	43.1
45	3.4	34	34.6	35.6	37.2	39.6	41.5	44.2
46	34.3	34.9	35.6	36.5	38.1	40.5	42.6	45.2
47	35.2	35.8	3.5	37.5	39.1	41.5	43.6	46.3
48	36.1	3.7	37.4	38.4	40	42.5	44.6	47.4
49	37	37.6	38.3	39.3	41	43.5	45.7	48.5
50	37.9	38.5	39.2	40.3	41.9	44.5	46.7	49.6
51	38.8	39.4	40.1	41.2	42.9	45.5	47.7	50.6
52	39.7	40.3	41	42.1	43.9	46.5	48.8	51.7
53	40.6	41.2	42	43.1	44.8	47.5	49.8	52.8
54	41.5	42.1	42.9	44	45.8	48.5	50.8	53.9
55	42.4	43	43.8	44.9	46.7	49.5	51.9	55
56	43.3	43.9	44.7	45.9	47.7	50.5	52.9	56.1
57	44.2	44.8	5.7	4.8	48.7	51.5	53.9	57.1
58	45.1	45.8	46.6	47.8	49.6	52.6	55	58.2
59	46	46.7	47.5	48.7	50.6	53.6	56	59.3
60	46.9	47.6	48.4	49.6	51.6	54.6	57.1	60.4
61	47.9	48.5	49.4	50.6	52.5	55.6	58.1	61.5
62	48.8	49.4	50.3	51.5	53.5	56.6	59.1	62.6
63	49.7	50.4	51.2	52.5	54.5	57.6	60.2	63.7
64	50.6	51.3	52.2	53.4	55.4	58.6	61.2	64.8
65	51.5	52.2	53.1	54.4	56.4	59.6	62.3	65.8
66	52.4	53.1	54	55.3	57.4	60.6	63.3	66.9
67	53.4	54.1	55	56.3	58.4	61.6	64.4	68
68	54.3	55	55.9	57.2	59.3	62.6	65.4	69.1
69	55.2	55.9	56.9	58.2	60.3	63.7	66.4	70.2
70	56.1	56.8	57.8	59.1	61.3	64.7	67.5	71.3
71	57	57.8	58.7	60.1	62.3	65.7	68.5	72.4
72	58	58.7	59.7	61	63.2	66.7	69.6	73.5
73	58.9	59.6	60.6	62	64.2	67.7	70.6	74.6

Anexo IV (continuación).**Tabla Erlang-B GoS**

N	P.01	P.012	P.015	P.02	P.03	P.05	P.07	P.10
74	59.8	60.6	61.6	62.9	65.2	68.7	71.7	75.6
75	60.7	61.5	62.5	63.9	66.2	69.7	72.7	76.7
76	61.7	62.4	63.4	64.9	67.2	70.8	73.8	77.8
77	62.6	63.4	64.4	65.8	68.1	71.8	74.8	78.9
78	63.5	64.3	65.3	66.8	69.1	72.8	75.9	80
79	64.4	65.2	66.3	67.7	70.1	73.8	76.9	81.1
80	65.4	66.2	67.2	68.7	71.1	74.8	78	82.2
81	66.3	67.1	68.2	69.6	72.1	75.8	79	83.3
82	67.2	68	69.1	70.6	73	76.9	80.1	84.4
83	68.2	69	70.1	71.6	74	77.9	81.1	85.5
84	69.1	69.9	71	72.5	75	78.9	82.2	86.6
85	70	70.9	71.9	73.5	76	79.9	83.2	87.7
86	70.9	71.8	72.9	74.5	77	80.9	84.3	88.8
87	71.9	72.7	73.8	75.4	78	82	85.3	89.9
88	72.8	73.7	74.8	76.4	78.9	83	86.4	91
89	73.7	74.6	75.7	77.3	79.9	84	87.4	92.1
90	74.7	75.6	76.7	78.3	80.9	85	88.5	93.1
91	75.6	76.5	77.6	79.3	81.9	86	89.5	94.2
92	76.6	77.4	78.6	80.2	82.9	87.1	90.6	95.3
93	77.5	78.4	79.6	81.2	83.9	88.1	91.6	96.4
94	78.4	79.3	80.5	82.2	84.9	89.1	92.7	97.5
95	79.4	80.3	81.5	83.1	85.8	90.1	93.7	98.6
96	80.3	81.2	82.4	84.1	86.8	91.1	94.8	99.7
97	81.2	82.2	83.4	85.1	87.8	92.2	95.8	100.8
98	82.2	83.1	84.3	86	88.8	93.2	96.9	101.9
99	83.1	84.1	85.3	87	89.8	94.2	97.9	103
100	84.1	85	86.2	88	90.8	95.2	99	104.1
102	85.9	86.9	88.1	89.9	92.8	97.3	101.1	106.3
104	87.8	88.8	90.1	91.9	94.8	99.3	103.2	108.5
106	89.7	90.7	92	93.8	96.7	101.4	105.3	110.7
108	91.6	92.6	93.9	95.7	98.7	103.4	107.4	112.9
110	93.5	94.5	95.8	97.7	100.7	105.5	109.5	115.1
112	95.4	96.4	97.7	99.6	102.7	107.5	111.7	117.3
114	97.3	98.3	99.7	101.6	104.7	109.6	113.8	119.5
116	99.2	100.2	101.6	103.5	106.7	111.7	115.9	121.7
118	101.1	102.1	103.5	105.5	108.8	113.7	118	123.9
120	103	104	105.4	107.4	110.7	115.8	120.1	126.1

Anexo IV (continuación).

Tabla Erlang-B GoS

N	P.01	P.012	P.015	P.02	P.03	P.05	P.07	P.10
122	104.9	105.9	107.4	109.4	112.6	117.8	122.2	128.3
124	106.8	107.9	109.3	111.3	114.6	119.9	124.4	130.5
126	108.7	109.8	111.2	113.3	116.6	121.9	126.5	132.7
128	110.6	111.7	113.2	115.2	118.6	124	128.6	134.9
130	112.5	113.6	115.1	117.2	120.6	126.1	130.7	137.1
132	114.4	115.5	117	117.1	122.6	128.1	132.8	139.3
134	116.3	117.4	119	121.1	124.6	130.2	134.9	141.5
136	118.2	119.4	120.9	123.1	126.6	132.3	137.1	143.7
138	120.1	121.3	22.8	125	128.6	134.3	139.2	145.9
140	122	123.2	124.8	127	130.6	136.4	141.3	148.1
142	123.9	12.1	126.7	128.9	132.6	138.4	143.4	150.3
144	125.8	127	128.6	130.9	134.6	140.5	145.6	152.5
146	127.7	129	130.6	132.9	136.6	142.6	147.7	154.7
148	129.7	130.9	132.5	134.8	138.6	144.6	149.8	156.9
150	131.6	132.8	134.5	136.8	140.6	146.7	151.9	159.1
152	133.5	134.8	136.4	138.8	142.6	148.8	154	161.3
154	135.4	136.7	138.4	140.7	144.6	150.8	156.2	163.5
156	137.3	138.6	140.3	142.7	146.6	152.9	158.3	165.7
158	139.2	140.5	142.3	144.7	148.6	155	160.4	167.9
160	141.2	142.5	144.2	146.6	150.6	157	162.5	170.2
162	143.1	144.4	146.1	148.6	152.7	159.1	164.7	172.4
164	145	146.3	148.1	150.6	154.7	161.2	166.8	174.6
166	146.9	148.3	150	152.6	156.7	163.3	168.9	176.8
168	148.9	150.2	152	154.5	158.7	165.3	171	179
170	150.8	152.1	153.9	156.5	160.7	167.4	173.2	181.2
172	152.7	154.1	155.9	158.9	162.7	169.7	175.3	183.4
174	154.6	156	157.8	160.4	164.7	171.5	177.4	185.6
176	156.6	158	159.8	162.4	166.7	172.6	179.6	187.8
178	158.5	159.9	161.8	164.4	168.7	175.7	181.7	190
180	160.4	161.8	163.7	166.4	170.7	177.8	183.8	192.2
181	164.3	165.7	167.6	170.3	174.8	181.9	188.1	196.6
182	162.3	163.8	165.7	168.3	172.8	179.8	185.9	194.4
186	166.2	167.7	169.6	172.3	176.8	184	190.2	198.9
188	168.1	169.6	171.5	174.3	178.8	186.1	192.3	201.1
190	170.1	171.5	173.5	176.3	180.8	188.1	194.5	203.3
192	172	173.5	175.4	178.2	182.8	190.2	196.6	205.5
194	173.9	175.4	177.4	180.2	184.8	192.3	198.7	207.7

Anexo IV (continuación).

Tabla Erlang-B GoS

N	P.01	P.012	P.015	P.02	P.03	P.05	P.07	P.10
196	175.9	177.4	179.4	182.2	186.9	194.4	200.8	209.9
198	177.8	179.3	181.3	184.2	188.9	196.4	203	212.1
200	179.7	181.3	183.3	186.2	190.9	198.5	205.1	214.3
202	181.7	183.2	185.2	188.1	192.9	200.6	207.2	216.5
204	183.6	185.2	187.2	190.1	194.9	20.7	209.4	218.7
206	185.5	187.1	189.2	192.1	19.9	204.7	21.5	221
208	187.5	189.1	191.1	194.1	199	206.8	21.6	223.2
210	189.4	191	193.1	196.1	201	208.9	215.8	225.4
212	191.4	193	195.1	198.1	203	211	217.9	227.6
214	193.3	194.9	197	200	205	213	220	229.8
216	195.2	196.9	199	202	207	215.1	222.2	232
218	197.2	198.8	201	204	209.1	217.2	224.3	234.2
220	199.1	200.8	202.9	206	211.1	219.3	226.4	236.4
222	201.1	202.7	204.9	208	213.1	221.4	280.6	238.6
224	203	204.7	206.8	210	215.1	223.4	230.7	240.9
226	204.9	206.6	208.8	212	217.1	225.5	232.8	243.1
228	206.9	08.6	210.8	213.9	19.2	227.6	235	245.3
230	208.8	210.5	212.8	215.9	221.2	229.7	23.1	247.5
232	20.8	212.5	214.7	217.9	223.2	231.8	239.2	249.7
234	212.7	214.4	216.7	219.9	225.2	233.8	241.4	251.9
236	214.7	216.4	18.7	221.9	227.2	235.9	243.5	254.1
238	216.6	218.3	220.6	223.9	229.3	238	245.6	256.3
240	218.6	220.3	222.6	225.9	231.3	240.1	247.8	258.6
242	220.5	222.3	224.6	227.9	233.3	242.2	249.9	260.8
244	222.5	224.2	226.5	229.9	235.3	244.3	252	263
246	224.4	226.2	228.5	231.8	237.4	246.3	254.2	265.2
248	226.3	228.1	230.5	233.8	239.4	248.4	256.3	267.4
250	228.3	230.1	232.5	235.8	241.4	250.5	258.4	269.6

Anexo V

Ejemplo para utilizar el software CalcuCell para el cálculo del tráfico.

CalcuCell v. 1. 04 (Unregistered copy)

RF Traffic Cable Antenna Units

CalcuCell About

Models

☐ Poisson ☒ Erlang B ☐ Erlang C

Number of channels Traffic (Erlang) GOS

28 20.15 0.02

Calculate Calculate Calculate

Number of subscribers Traffic

808 20.2 Erl

Calling rate per subscriber

Traffic

25 mErl/sub

Number of subscribers

35 1000

Calculate Calculate

1ro-Se ubica en la cantidad de canales/sector.

3ro-Se hace click en el botón y se obtiene la cantidad de tráfico/sector

2do-Se ubica el valor de la probabilidad de congestión.

Anexo VI

Características de la antena para la banda de P-GSM de la firma Super Pass Modelo número SPDC3T



No	Parámetros	Típicos	Observaciones
1	Rango de frecuencia	902 — 928 MHz	
2	Impedancia	50 Ω	
3	VSWR o pérdidas de retorno	< 1.5:1 (o > 14dB)	
4	Ganancia	>10dBi	
5	Polarización	Vertical, Linear	
6	Ancho del haz horizontal 3dB	120 grados	
7	Ancho del haz horizontal 3dB	24 grados	
8	Razón Front to Back	>21dB	
9	Potencia máxima de entrada	20W	
10	Conector	Hembra N/SMA, alimentador inferior	Diseñado o personalizado
11	Apariencia	Tipo panel	
12	Talla	28.2 x 7 x 8 [pulgadas]	
13	Material de protección	Cubierto con aluminio polvorizado	
14	Material aleatorio	ABS con protección UV	
15	Color aleatorio	blanco	
16	Diseño envoltura	Resistente al agua	
17	Peso	4 Lbs	
18	Carga de viento (Frontal)	10 Kg.	200km/h
19	Rango de temperatura	-45 to +75 Grados	
20	Temperatura de almacenamiento	-30 to +75 Grados	
21	Opción de tierra DC	DC tierra	
22	Durabilidad	20 años	