

15

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO



FACULTAD DE INGENIERIA

ALTERNATIVAS DE IMPLANTACION
DE UNA RED PCS

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES
P R E S E N T A N :
MANRIQUEZ LOPEZ JOSE ALEJANDRO
MARTINEZ ALVAREZ ROBERTO
ORTIZ CORONEL RAFAEL

ASESOR: ING. JOSE LUIS MARTINEZ FLORES



CIUDAD UNIVERSITARIA

ABRIL DEL 2001

2001



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

A mi padre, por el gran sacrificio que ha hecho para que yo alcanzara esta meta. Sin ti nunca lo hubiera logrado, éste logro es más tuyo que mío. Te quiero.

A mi madre, por el gran amor y paciencia que me ha tenido. También es un logro más tuyo que mío. Te quiero.

A mis hermanas, Araceli y Maricela, por aguantarme todos estos años, ustedes lo van a lograr también.

A mi abuelos Juan, Leonila y María; mis tíos Inés, Froylán y Socorro y a mis primos Claudia, Dagoberto, Adriana, Cristina, Teresa, Froylán y Alejandra; gracias porque de alguna manera me ayudaron a ser mejor persona.

A José Luis, porque no sólo has sido un buen guía, sino que te has convertido en un amigo, has sido un gran ejemplo a seguir.

A Roberto y Rafael, compañeros de muchas batallas, creo que la más importante (hasta ahora) ha sido ganada. Grandes momentos juntos.

A mi gran amiga (mi mejor amiga) Marcela, que tiempos tan gratos en la Universidad y ahora en el trabajo; gracias, has sido un gran apoyo, ojalá nunca nos perdamos la pista.

A otros amigos y personas muy especiales: Federico (buenos momentos en la Universidad), Edita y Daniel (agradables días en la Universidad, quien hubiera dicho que ahora trabajaríamos en equipo para un mismo proyecto), Elizabeth (que bonita época pasé contigo), Susana (eres una amiga especial), Mónica, Martha, Rocio, Claudia, Cítlalli, Alfonso, Gerardo, Hassan y Eduardo (momentos muy bellos en aquella inolvidable prepa 7, quizá los mejores días de mi vida), Arturo y Jorge (que equipo el de la prepa, temible).

A mis compañeros de generación, gracias por los momentos vividos.

Gracias a todas las personas que en algún momento han formado parte de mi vida y que de alguna manera han contribuido a lo que soy hoy, sería muy difícil mencionarlos a todos.

Y por sobre todas las cosas, a mi muy querida Universidad Nacional Autónoma de México, porque sus aulas y su gente me han hecho una persona de bien, siempre seguiré y predicaré los grandes valores que en ella aprendí, porque "Por mi raza, hablará el espíritu".

*Goooooya, goooooya, cachún, cachún ra ra, cachún, cachún ra ra, gooooooya,
¡UNIVERSIDAD!*

Alejandro

A Dios por ser mi todo.

A mi Madre y Padre mil gracias por todo su amor, apoyo y fe en mí de manera siempre incondicional; ¡ Los amo!

A mi Hermano, Araceli y al pequeño Sebastián gracias por su cariño; ¡ Los quiero!

A todos mis abuelos, tíos, tías, primos y primas gracias por todas sus enseñanzas.

A todos mis amigos y amigas les agradezco todos los momentos compartidos.

A Alejandro y Rafael por ser cómplices no sólo en este trabajo sino también durante toda la carrera.

Al Ing. José Luis Martínez Flores, gracias por tu apoyo y paciencia.

A toda mi generación.

A la Universidad Nacional Autónoma de México y la Facultad de Ingeniería gracias por su cobijo; es un orgullo el ser parte de ustedes.

Roberto

Agradezco infinitamente a toda mi familia por el apoyo incondicional que siempre he recibido de todos ellos, especial a mi Madre, a mi Padre y a todos mis hermanos.

Gracias a Roberto y Alejandro por los momentos de diversión que siempre han surgido al estar juntos.

Gracias a José Luis, por permitirnos tanta flexibilidad en la tesis, y siempre estar en los momentos en que necesitábamos la decisión final.

Gracias a todos los profesores que le dan alas a la imaginación, por ser parte fundamental de la Universidad.

Gracias Mario, porque siempre has sido un ejemplo a seguir para mí.

Gracias a todas las personas que he conocido, que de una u otra manera me han apoyado, y que sería muy largo enumerar, desde mi niñez hasta este momento, ya fuera en la escuela, en el trabajo o en cualquier otra parte.

Rafael

INDICE

título I Introducción	1
título II Tecnologías TDMA y CDMA	4
TDMA: Acceso Múltiple por División de Tiempo	6
2.1.1 Descripción general de una red TDMA	6
2.1.2 Estructura de una trama en TDMA	7
2.1.3 Canales de subida y de bajada	8
2.1.4 Canal de sincronía	9
2.1.5 Canales de control	9
2.1.6 Codificación del canal de voz	10
2.1.7 Rehúso de frecuencias	11
2.1.8 Estrategias para la transferencia de llamada	13
2.1.9 Interferencia y capacidad del sistema	15
CDMA: Acceso Múltiple por División de Código	18
2.2.1 Descripción general de la red	18
2.2.2 Canal de bajada (<i>forward channel</i>)	19
2.2.3 Canal de subida (<i>reverse channel</i>)	22
2.2.4 Aislamiento de los usuarios	23
2.2.5 Aislamiento de las radiobases	24
2.2.6 Transferencia de llamada	25
2.2.7 Contaminación de piloto	26
2.2.8 Servidor no dominante	28
2.2.9 Interferencia en CDMA	29
2.2.10 Rehúso de secuencias PN	30
2.2.11 Factores de capacidad	31
Ingeniería de tráfico	34
2.3.1 Modelo Erlang B	35
2.3.2 Tráfico en TDMA	35
2.3.3 Tráfico en CDMA	36

2.4 Modelos de propagación	38
2.4.1 Modelo Cost - 231	38
2.4.2 Modelo de Hata para 1900 MHz	40
2.5 Diseño	41
2.5.1 Metas del diseño de RF	41
2.5.2 Requerimientos y especificaciones	42
2.5.3 Consideraciones de tráfico y capacidad del sistema	42
2.5.4 Mediciones de la potencia de la señal	42
2.5.5 Aislamiento de los usuarios y de las radiobases	43
2.5.6 Modelo de propagación	43
2.5.7 Localización, renta y adquisición de sitios	43
2.5.8 Predicción de la cobertura	43
2.6 Ruta del enlace	44
2.6.1 El balance del enlace	44
2.6.2 Sistema de antenas	45
2.6.3 Sensibilidad del receptor	46
2.6.4 Confiabilidad de la cobertura	46
2.6.5 Variación de la señal	46
2.6.6 Ganancia de transferencia de llamada suave	48
2.6.7 E_b/N_o (relación de energía por bit a densidad de ruido espectral)	48
2.6.8 C/N (relación portadora a ruido)	48
2.6.9 Carga de la célula y factor de carga (margen de interferencia)	48
2.6.10 Máxima pérdida en la trayectoria	49
2.6.11 Resumen de pasos para la ruta de enlace	49
Capítulo III Diseño de una red PCS usando tecnologías TDMA y CDMA	50
3.1 Procedimiento de ingeniería de RF	51
3.1.1 Requerimientos y especificaciones	51
3.1.2 Ingeniería de RF	52
3.1.3 Ingeniería del sitio	53
3.1.4 Ingeniería de optimización	55

2	Requerimientos de tráfico	56
3.2.1	Requerimientos de capacidad	56
3.2.2	Requerimientos de tráfico para la ciudad de León	56
3	Dimensionamiento con TDMA	58
3.3.1	Análisis del enlace en TDMA	58
3.3.1.1	Datos de entrada	58
3.3.1.2	Equipo y medio ambiente	58
3.3.1.3	Márgenes	61
3.3.1.4	Modelo de propagación y cobertura	61
3.3.2	Dimensionamiento de las radiobases	64
4	Dimensionamiento con CDMA	74
3.4.1	Análisis del enlace en CDMA	74
3.4.1.1	Datos de entrada	74
3.4.1.2	Equipo y medio ambiente.	74
3.4.1.3	Márgenes	76
3.4.1.4	Cargas	77
3.4.1.5	Modelo de propagación y cobertura	78
3.4.2	Dimensionamiento de las radiobases	80
Capítulo IV Mejoras a una red PCS usando tecnología satelital LEO		94
1	Órbitas satelitales	96
2	Ventajas de las órbitas NO-GEO	97
3	Características orbitales	98
4.3.1	Tipos de órbitas	98
4.3.2	Parámetros básicos de un sistema LEO	99
4	Segmento espacial	102
4.4.1	Plataforma del satélite	102
4.4.2	Carga útil del satélite	103

Segmento terrestre	104
5.1 Estaciones terrestres	104
5.2 Terminales	104
Características de un sistema LEO	105
5.1 Constelaciones de satélites LEO	105
5.2 Sistemas celular LEO	105
5.3 Tecnología " <i>bent-pipe</i> "	107
5.4 Enlaces intersatelitales e interorbitales	107
6.5 Efectos ambientales sobre satélites LEO	109
6.6 Efecto Doopler	109
6.7 Confiabilidad y disponibilidad	110
Análisis de enlace	112
Diseño de un sistema NO-GEO	115
Globalstar	116
9.1 Segmento espacial Globalstar	116
9.2 Segmento terrestre	118
9.3 Plan de frecuencias	119
9.4 Descripción de enlaces Globalstar	120
10 Cálculo de enlace para la Cd. de León	124
Capítulo V Resultados	129
Capítulo VI Conclusiones	137
Bibliografía	140

CAPITULO I INTRODUCCION

El mundo de las comunicaciones se ha desarrollado vertiginosamente durante el último siglo, siendo en las dos últimas décadas donde las comunicaciones móviles han cobrado vital importancia. Históricamente, las comunicaciones se restringían principalmente al tráfico de voz entre dos puntos fijos más que entre dos personas. Con el surgimiento de las tecnologías inalámbricas comenzó la transición de las comunicaciones punto - punto hacia las comunicaciones persona - persona, independientemente de su localización, provocando una penetración rápida de la telefonía inalámbrica.

La primera generación de telefonía celular se introdujo con éxito a principios de los 80's utilizando principalmente tecnologías analógicas como FDMA (Acceso Múltiple por División de Frecuencia). Un típico ejemplo de este servicio fue el sistema AMPS (Servicio de Telefonía Móvil Avanzada). La segunda generación de sistemas inalámbricos emplea modulación digital y capacidades avanzadas de procesamiento de llamada; ofreciendo la posibilidad de utilizar eficientemente el espectro de radiofrecuencia utilizando principalmente dos tecnologías de acceso: TDMA (Acceso Múltiple por División de Tiempo) y CDMA (Acceso Múltiple por División de Código).

En la actualidad la evolución de las comunicaciones móviles ha desembocado en que el diseño de las redes celulares y de PCS's hagan uso de alguna de las dos tecnologías de acceso antes mencionadas. Lo anterior desata la polémica acerca de cual es más conveniente utilizar. El principal objetivo de éste trabajo es presentar una comparación entre estas dos alternativas para redes inalámbricas terrestres, tomando como base dos diseños de radiofrecuencia aplicados a la Ciudad de León, y sea el operador final quien decida cual es la que más conviene a sus intereses. Sin embargo, uno de los principales problemas de las redes terrestres es su cobertura limitada, ya que frecuentemente está sólo comprende zonas urbanas debido a sus altos costos de implantación; es por ello que se presenta como complemento a las redes terrestres la utilización de una red satelital de órbita baja.

A continuación se describen brevemente los temas tratados en cada uno de los capítulos que componen a ésta tesis:

En el capítulo II se comienza describiendo las características de las tecnologías TDMA y CDMA. Se describen, de igual manera, los problemas de interferencia que se tienen que afrontar así como las técnicas que se utilizan para combatir dichos problemas. Se menciona la relación de capacidad de cada uno de los sistemas y los diferentes tipos de transferencia de llamada que manejan. Se continúa con algunos de los aspectos de ingeniería de tráfico. Enseguida se hace una breve descripción de algunos modelos de propagación que se utilizan en los análisis de enlaces de radiofrecuencia, finalizando con una explicación de los aspectos teóricos del diseño de RF.

En el capítulo III se muestra un procedimiento de ingeniería con algunos pasos recomendables a seguir en la selección e instalación de sitios para sistemas PCS terrestres. Se continua con dos diseños de un sistema PCS en la ciudad de León empleando TDMA y CDMA, partiendo de un análisis de mercado del cuál se estima la población objetivo para cinco años describiendo, además, el crecimiento de los sistemas en periodos de un año.

En el capítulo IV se analizan las principales características y componentes de un sistema satelital móvil. En primer plano se comienza con una explicación de las principales órbitas satelitales indicando la ubicación en el espacio de cada una de ellas. Enseguida se analiza un poco mas a detalle el sistema satelital LEO mostrando el análisis para enlaces de éste tipo. Se continua explicando en términos generales el funcionamiento de un sistema satelital como lo es Globalstar. En la última parte se realizo un cálculo de enlace para la ciudad de León, tomando en cuenta los parámetros que usa Globalstar.

Finalmente en el capítulo V se muestran y confrontan los resultados obtenidos, concluyendo sobre ellos en el capítulo VI.

CAPITULO II TECNOLOGIAS TDMA Y CDMA

Con la reciente aparición de la tecnología CDMA se ha desatado una polémica sobre si ésta tecnología es superior o mejor a otras, concretamente, a TDMA. Uno de nuestros objetivos en ésta tesis es confrontar en forma clara y objetiva las ventajas y desventajas de cada una de ellas para que sea el usuario quién decida al final cual es la que más conviene a sus intereses.

En éste trabajo se describen y utilizan concretamente las especificaciones EIA IS - 136.2 para TDMA e EIA IS - 95 para CDMA. Técnicamente hablando TDMA y CDMA son sólo métodos de acceso mientras que los estándares son protocolos que emplean dichos métodos.

Básicamente tanto TDMA como CDMA persiguen un mismo objetivo, buscar la manera de optimizar el uso del espectro de radiofrecuencia permitiendo a múltiples usuarios compartir un mismo canal físico y sólo difieren en la forma en que se comparten los recursos.

Presentamos también una alternativa al uso de redes inalámbricas terrestres como lo son los servicios satelitales. La principal ventaja de usar satélites para telecomunicaciones radica en eludir las barreras naturales, permitir planear su uso para requerimientos reales, acortar los tiempos de instalación y complementar las redes terrestres para transmisiones internacionales posibilitando la cobertura global. Con ello se establecen transmisiones con equipos móviles desde puntos geográficos, en donde no existe infraestructura para telecomunicaciones por redes terrestres.

2.1 TDMA: ACCESO MULTIPLE POR DIVISION DE TIEMPO

El sistema de acceso múltiple por división de tiempo divide el espectro de radio dentro de ranuras de tiempo, y solo a un usuario le permite transmitir o recibir en cada una de dichas ranuras sobre una frecuencia determinada.

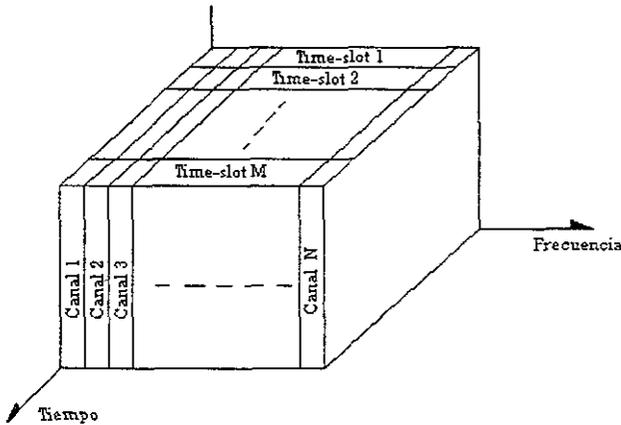


Figura 2.1.1 Esquema de TDMA

Los sistemas que utilizan TDMA, debido a que no disponen del enlace de comunicación de manera continua, almacenan la información y la transmiten en periodos de tiempo específicos y más pequeños. La transmisión de varios usuarios se acomoda dentro de una estructura de trama como se describe posteriormente.

2.1.1 DESCRIPCION GENERAL DE UNA RED TDMA

En general una red TDMA se puede describir a través del diagrama de la figura 2.1.2

- **Central Celular MSC (Mobile Switching Center):** El MSC procesa peticiones de servicio de los teléfonos móviles y usuarios de la RTPC (Red Telefónica Pública Conmutada), enruta llamadas entre las radiobases y la RTPC. El MSC recibe los dígitos marcados, crea un interprete para generar los tonos y conectar la llamada a la RTPC. El MSC contiene controladores, base de datos, un conjunto de switches y suministro de energía. Los controladores adaptan las señales de voz para y de los enlaces de comunicación. Las bases de datos contienen información del usuario. El conjunto de switches conecta los enlaces de comunicación entre las Radiobases y la RTPC.

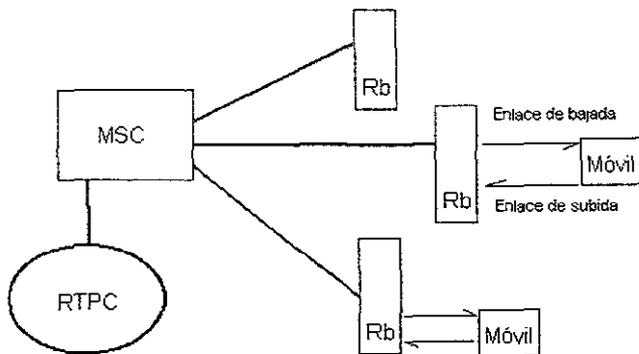


Figura 2.1.2 Diagrama de una Red TDMA

- Rb (Radiobases): Esta compuesta del Equipo de Radiobases y del sistema de antenas. El equipo de la Radiobase cuenta con equipo de RF (Transceptores y equipo de interface de la antena), controladores y suministro de energía. El sistema de antenas consiste de antenas, torre, cableado y combinador de la señal de RF. Además, la radiobase realiza la codificación/decodificación del canal de voz para la protección y detección de errores.
- Móvil: Es el enlace entre el usuario y la red inalámbrica. El móvil provee un método para controlar el teléfono y muestra el estatus de operación. Los teléfonos también muestrean y procesan la señal de audio, transmiten y reciben las señales de radiofrecuencia hacia y desde la Radiobase.

2.1.2 ESTRUCTURA DE UNA TRAMA EN TDMA

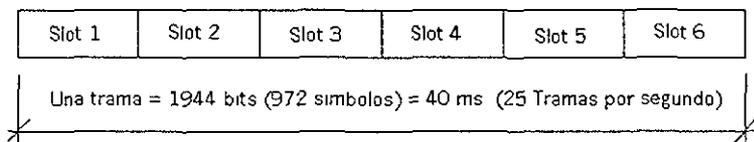


Figura 2.1.3 Estructura de una trama utilizando TDMA

En el caso particular de la norma IS-136 se utiliza el formato mostrado en la figura 2.1.3 para las ranuras de tiempo. La longitud de la trama en cada canal digital de TDMA es de 40 MS Cada trama consiste de 6 ranuras de tiempo del mismo tamaño (numerados del 1 al 6), que tienen exactamente una longitud de 162 símbolos (cada símbolo esta compuesto de 2 bits, por el tipo de codificación que se utiliza). Cada canal de comunicación (ya sea para el enlace de subida o para el de bajada) utiliza dos ranuras igualmente espaciados de la trama (ya sea: el 1 y el 4, el 2 y el 5 o el 3 y el 6)

En la estación móvil, la diferencia entre el la trama del enlace de subida y el de bajada es de una ranura mas 45 símbolos (207 periodos de símbolo). La ranura 1 de la trama N en el enlace de bajada ocurre 207 periodos de símbolo después de la ranura 1 de la trama N en el enlace de subida [3].

2.1.3 CANALES DE SUBIDA Y DE BAJADA

No existe una diferencia significativa para estos dos tipos de canales ya que emplean un formato similar como se puede observar en las figuras:

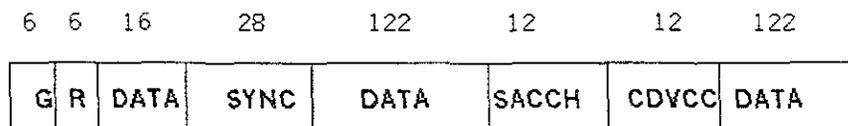


Figura 2.1.4 Formato para la ranura de tiempo de la estación móvil a la Radiobase (los números indican la longitud en bits)

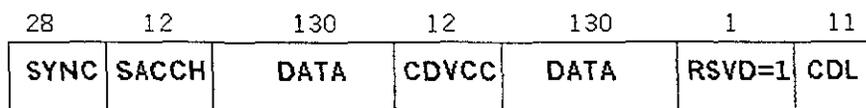


Figura 2.1.5 Formato para la ranura de tiempo de la Radiobase a la estación móvil (enlace directo o de bajada)

La interpretación de los diferentes campos es la siguiente [3]:

- G - Tiempo de Guarda
- R - Tiempo de Rampa
- DATA- Información de usuario
- SACCH- Canal de control asociado lento (Slow Associated Control Chanel)
- CDVCC- Código de Color Digital para la Verificación (Digital Verification color Code)
- SYNC- Sincronización
- CDL- Código Digital Para la Localización (Coded Digital Control Channel Locator)
- RSVD- Reservado

Existen cuatro principales canales de datos que se proveen simultáneamente; el más importante de estos en todos los aspectos es el de la información del usuario (DATA); los otros tres canales llevan información de supervisión relacionada con el sistema celular. Los tres canales de supervisión incluyen el Código de Color Digital para la Verificación (CDVCC), el Canal de Control Lento Asociado (SACCH) y el Canal de Control Rápido Asociado (FACCH), el canal CDL algunos autores lo manejan como un canal reservado, y no se cuenta con mucha información acerca de él.

2.1.4 CANAL DE SINCRONIA

Debido a que se tiene multiplexación en el tiempo es necesario que transmisor y receptor identifiquen el inicio de las diferentes tramas, y de esta manera ambos puedan decodificar de manera apropiada la trama de bits que reciben, para lo cual se auxilian de tramas predefinidas que identifican cada uno de las 6 diferentes *ranuras de tiempo*, como se puede observar en la tabla de abajo, ésta trama tiene una longitud de 14 símbolos (28 bits), que sirven tanto para la sincronía como la identificación de las ranuras de tiempo.

Las tramas de sincronización están especificadas por los siguientes cambios de fases en radianes [3].

	Slots													
na\	S 1	S 2	S 3	S 4	S 5	S 6	S 7	S 8	S 9	S 10	S 11	S 12	S 13	S 14
na 1	$-\pi/4$	$-\pi/4$	$-\pi/4$	$3\pi/4$	$\pi/4$	$3\pi/4$	$-3\pi/4$	$3\pi/4$	$-3\pi/4$	$-\pi/4$	$3\pi/4$	$\pi/4$	$-\pi/4$	$-\pi/4$
na 2	$-\pi/4$	$-\pi/4$	$-\pi/4$	$3\pi/4$	$-3\pi/4$	$3\pi/4$	$\pi/4$	$3\pi/4$	$\pi/4$	$-\pi/4$	$3\pi/4$	$-3\pi/4$	$-\pi/4$	$-\pi/4$
na 3	$-3\pi/4$	$\pi/4$	$3\pi/4$	$-3\pi/4$	$-3\pi/4$	$-\pi/4$	$\pi/4$	$-3\pi/4$	$-3\pi/4$	$\pi/4$	$\pi/4$	$\pi/4$	$-3\pi/4$	$\pi/4$
na 4	$\pi/4$	$-3\pi/4$	$3\pi/4$	$\pi/4$	$\pi/4$	$-\pi/4$	$-3\pi/4$	$\pi/4$	$\pi/4$	$-3\pi/4$	$-3\pi/4$	$-3\pi/4$	$\pi/4$	$-3\pi/4$
na 5	$\pi/4$	$3\pi/4$	$\pi/4$	$-3\pi/4$	$-3\pi/4$	$-\pi/4$	$\pi/4$	$-\pi/4$	$\pi/4$	$-3\pi/4$	$-3\pi/4$	$3\pi/4$	$\pi/4$	$3\pi/4$
na 6	$-3\pi/4$	$3\pi/4$	$-3\pi/4$	$\pi/4$	$\pi/4$	$-\pi/4$	$-3\pi/4$	$-\pi/4$	$-3\pi/4$	$\pi/4$	$\pi/4$	$3\pi/4$	$-3\pi/4$	$3\pi/4$

2.1.5 CANALES DE CONTROL

Los canales de control digital se utilizan para transportar información, además de que proveen una plataforma para los servicios en el sistema IS-136.

El CDVCC es una trama de 12 bits enviados en cada ranura y que se dividen en 8 bits de información que se protegen con 4 bits adicionales generados con el código de Hamming (12,8). La radiobase transmite el CDVCC en el enlace de bajada, y cada usuario recibe, decodifica y retransmite el mismo valor del CDVCC a la radiobase en el enlace de subida. Si el valor del CDVCC no se retransmite correctamente, la transmisión es terminada automáticamente.

El SACCH es una secuencia de datos continua enviada junto con la información del usuario. El SACCH es enviado usando una secuencia dedicada de bits en cada ranura de tiempo, así que los mensajes del SACCH no afectan la comunicación de la voz (o datos de usuario). Sin embargo la velocidad de transmisión del SACCH es lenta; por lo cual para una entrega rápida de mensajes de control esta se envía a través del FACCH. El sistema se

diseño para que el SACCH y el FACCH maximicen el número de bits dedicados a los datos de usuario, así como para optimizar el número de bits dedicados a la señalización continua.

Al SACCH se le dedican 12 bits por ranura de tiempo; un mensaje se compone en 12 ranura de tiempo; así que se tiene una tasa de transmisión de 600 bps para la señalización si es que se utiliza únicamente el SACCH.

El FACCH es otro canal de señalización que se utiliza para enviar datos de control o de tráfico entre la radiobase y la unidad móvil. Los datos del FACCH (cuando se envían) toman el lugar de la información del usuario (DATA) dentro de la trama (los 260 bits). Los datos del FACCH se protegen contra error por medio de codificación convolucional de tasa $\frac{1}{4}$, que incrementa la protección contra errores ya que comúnmente este tipo de mensajes son enviados en malas condiciones de radiofrecuencia (como por ejemplo transferencia de llamada). Debido a la tasa $\frac{1}{4}$ de codificación que se utiliza, la tasa de transmisión pasa de ser de 13 kbps a 3250 kbps. La calidad de la voz se degrada mas conforme se reemplaza la información de usuario por información de señalización [9].

2.1.6 CODIFICACION DEL CANAL DE VOZ

Los campos DATA en total suman 260 bits de información de usuario por ranura. En el enlace de bajada, los campos DATA se encuentran separados en 2, cada uno con 130 bits. En el enlace de subida, existen 3 campos DATA, uno con 16 bits y los otros dos con 122 bits cada uno. Un canal de comunicación utiliza dos ranuras por trama lo cual implica que cada usuario generara:

$$2 \text{ ranuras de tiempo/trama} \times 260 \text{ bits/ranura de tiempo} \times 1 \text{ trama}/.04 \text{ segundos} = 13,000 \text{ bits/segundo}$$

En la radiobase la voz llega de la central una razón de 64 000 bits/segundo (codificados con el formato de la ley μ). Un codificador VSELP (*Vector Sum Excited Linear Prediction*) procesa la información (ya sea de una terminal móvil o de una radiobase) en tramas de 20 ms de duración. El algoritmo del VSELP genera 159 bits para representar dichas muestras.

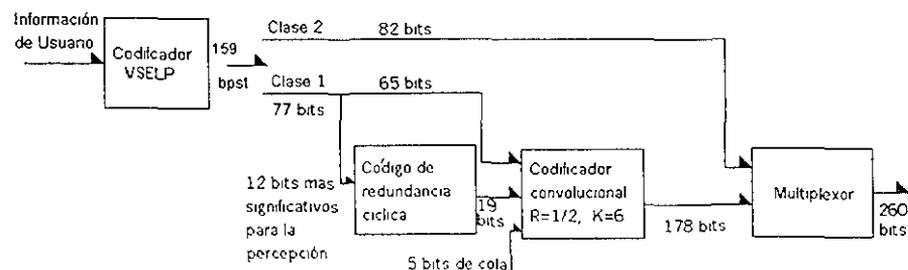


Figura 2.1.6 Protección de error para la voz

Esta trama se divide en dos clases, de acuerdo a su importancia: en 77 bits de clase 1 y 82 bits de clase 2. Los errores en la transmisión en cualquiera de los bits de clase 1 provocarían una señal de voz bastante distorsionada en el decodificador; los errores en los otros dos 82 bits deterioran la reconstrucción de la voz, pero de manera menos significativa. Dentro de los 77 bits de clase 1, 12 se consideran como los más significativos para la percepción; se utiliza un código de redundancia cíclica para proteger a estos 12 bits. A este bloque se le anexan 5 bits de cola, y posteriormente es codificado mediante un codificador convolucional con $R = \frac{1}{2}$, lo que produce: $2 \times (65 + 19 + 5) = 178$ bits de información protegida. Estos bits se multiplexan con los otros 82 bits no protegidos para producir un bloque de 260 bits.

Posteriormente, se realiza un entrelazado (*interleaving*) que consiste en ordenar los 260 bits en una matriz de 26×10 ; se ordena la información por columnas y posteriormente se transmite por renglones, lo que “esparce” los posibles errores, siendo más factible que estos errores sean corregidos en su decodificación. Finalmente se realiza la modulación de los bits recibidos por medio de modulación DQPSK.

En el receptor se realiza la operación inversa, primero se separan los 82 bits sin protección de los 178 que sí la tienen, luego decodifica estos 178 bits generados por el codificador convolucional y posteriormente realiza la verificación de la redundancia cíclica para los 12 bits más significativos [4].

2.1.7 REHUSO DE FRECUENCIAS

Los sistemas celulares y de PCS implican una ubicación inteligente y rechazo de canales a través del área de cobertura. Cada radiobase utiliza un grupo de canales de radio que son asignados dentro de una pequeña área geográfica llamada célula. A las radiobases adyacentes se les asignan grupos de canales que contienen frecuencias totalmente diferentes a las de las vecinas. Limitando el área de cobertura dentro de las vecindades de una célula, el mismo grupo de canales puede ser utilizado para cubrir diferentes células que están separadas lo suficiente para tener niveles de interferencia tolerables. El proceso de diseño en el cual se seleccionan y asignan grupos de canales para todas las radiobases dentro de un sistema es llamado Planeación de Frecuencias (Ver tabla I).

La figura 2.1.7 ilustra el concepto del rechazo de frecuencias donde las células etiquetadas con las mismas letras utilizan el mismo grupo de canales. El plan de rechazo de frecuencias es sobrepuesto en un mapa para indicar cuando es que los diferentes canales serán utilizados.

A1	B1	C1	D1	E1	F1	G1	A2	B2	C2	D2	E2	F2	G2	A3	B3	C3	D3	E3	F3	G3
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	125	126
127	128	129	130	131	132	133	134	135	136	137	138	139	140	141	142	143	144	145	146	147
148	149	150	151	152	153	154	155	156	157	158	159	160	161	162	163	164				

**Tabla I.- Plan de Frecuencias con un plan 7/21 para 164 frecuencias disponibles
(Para un ancho de banda de 5 MHz, y subdivisiones del mismo en frecuencias de 30 kHz)**

Por medio del uso de la geometría hexagonal, es posible cubrir un área determinada con la menor cantidad de radiobases; además el hexágono aproxima el patrón de radiación circular que se presenta en las radiobases omnidireccionales en el espacio libre.

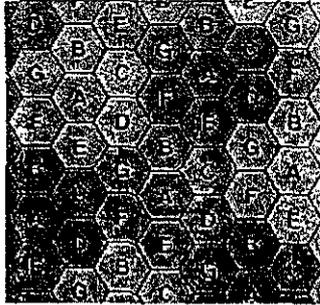


Figura 2.1.7 Plan de rejilla de frecuencias

En el caso de que se utilicen hexágonos para modelar el área de cobertura, las radiobases pueden radiar desde el centro como desde la unión de tres células. Normalmente las antenas omnidireccionales son utilizadas en células que radian desde el centro, y las antenas sectoriales se utilizan en células que son radiadas desde las esquinas (ver fig. 2.1.8). Consideraciones prácticas normalmente no permiten instalar a las radiobases exactamente en el lugar en el que idealmente se localizaría. La mayoría de los diseños de los sistemas celulares permiten a una radiobase ser instalada hasta aproximadamente un cuarto del radio de la célula con respecto a su posición ideal.

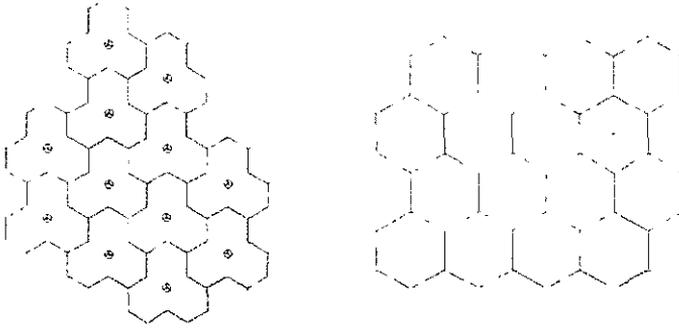


Figura 2.1.8 Células con antenas sectoriales y omnidireccionales

2.1.8 ESTRATEGIAS PARA LA TRANSFERENCIA DE LLAMADA

Cuando un móvil se mueve dentro de una célula con una conversación en progreso a una nueva, la central transfiere automáticamente la llamada a un nuevo canal que pertenece a la nueva radiobase. Este proceso de transferencia de llamada no sólo involucra el identificar una nueva radiobase, también implica que las señales de control y de voz asociados pertenezcan a ella.

El proceso de la transferencia de llamada es una tarea importante en cualquier sistema celular y de PCS's. Muchas estrategias de asignación de canales dan prioridad a las transferencias de llamadas mas que a los requerimientos de inicio de llamada cuando es que existen canales libres en la radiobase. Las transferencias de llamada deben ser realizadas satisfactoriamente y tan infrecuentemente como sea posible, además de que deben ser imperceptibles para el usuario. Para satisfacer éstas necesidades, los diseñadores del sistema deben especificar un nivel de señal óptimo al cual se iniciará la transferencia de llamada. Una vez que un nivel particular de señal se define como el mínimo que se puede utilizar para una calidad de voz aceptable en la radiobase en cuestión (normalmente tomado entre -90 y -100 dBm), se define también un umbral al cual se realiza la transferencia de llamada. Este margen, dado por $P_{\text{requerimiento de transferencia de llamada}} - P_{\text{mínima utilizable}}$, no puede ser muy grande o muy pequeño, ya que si es muy grande, se generarían demasiadas peticiones de transferencia de llamada que incrementarían la carga de la central celular, y si es demasiado pequeño, el tiempo puede ser insuficiente para completar la transferencia de llamada después que la llamada es pérdida debido a la disminución de la señal de la radiobase que servía al móvil originalmente [1].

Es necesario tomar en cuenta, para realizar una transferencia de llamada, que el descenso en la señal medida no se deba al desvanecimiento (*fading*) momentáneo y que el móvil se este moviendo desde la radiobase servidora. Para asegurar lo anterior, la radiobase monitorea el nivel de señal por un cierto periodo de tiempo antes que la transferencia de llamada inicie.

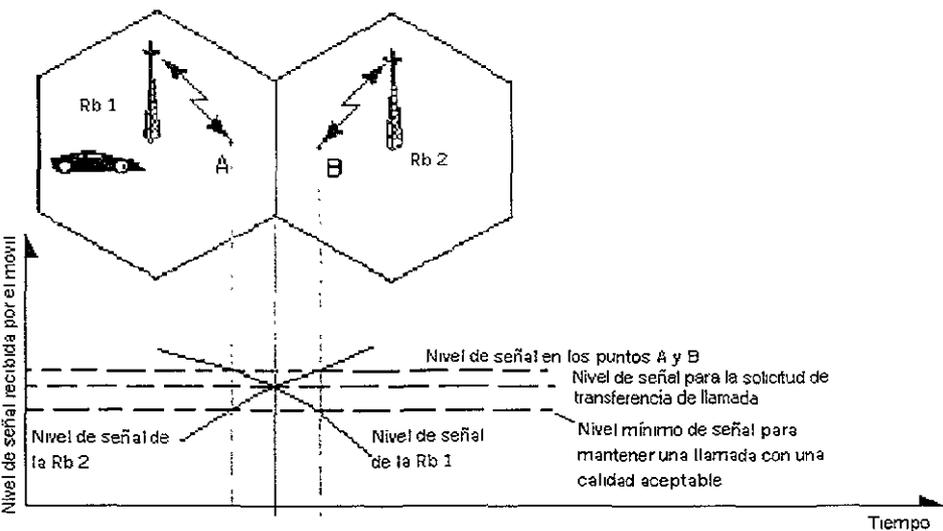


Figura 2.1.9 Transferencia de llamada en TDMA

En la primera generación de los sistemas celulares analógicos (como en el caso de AMPS), las medidas del nivel de señal las realizaba la radiobase y los supervisaba la Central Celular. Cada radiobase monitoreaba constantemente la fuerza con que las diferentes señales llegaban a ella en los canales de subida para determinar la localización relativa de cada móvil con respecto a la radiobase en cuestión.

En la segunda generación, los sistemas que utilizan tecnología TDMA, la decisión de la transferencia de llamada era asistida por el móvil. En la transferencia de llamada asistida por el móvil (MAHO por sus siglas en inglés), cada teléfono celular mide la potencia de la señal de las estaciones vecinas y continuamente reporta el resultado de estas mediciones a la radiobase que lo está atendiendo. El proceso de *transferencia de llamada* inicia cuando la potencia recibida de las radiobases vecinas comienza a exceder la potencia recibida de la radiobase que lo está atendiendo ya sea por un cierto nivel o por cierto período de tiempo [1].

También tanto el móvil como la radiobase estiman el valor de la tasa de bit en error (BER) que detectan tanto en el enlace de bajada como en el de subida, con estos valores es posible determinar ciertos casos en los cuales es necesario realizar transferencia de llamada.

2.1.9 INTERFERENCIA Y CAPACIDAD DEL SISTEMA

La interferencia es el factor mas limitante en el diseño de la parte de radio de un sistema celular o de PCS's. Las fuentes de interferencia incluyen a otros móviles usando la misma célula, una llamada en progreso en la una célula vecina, otras radiobases operando en la misma frecuencia, o cualquier sistema que radie energía en el mismo ancho de banda.

La interferencia sobre los canales de voz causan una especie de llamadas cruzadas, donde el subscriptor escucha la interferencia producida por otros subscriptores; mientras que sobre los canales de control la interferencia que se produce origina llamadas bloqueadas y pérdidas, debido a los errores que se producen en la señalización en esos casos.

Los dos tipos principales de interferencia generados por un sistema en TDMA son:

- Interferencia cocanal
- Interferencia por canal adyacente

A pesar de que parte de la interferencia sea producida por el mismo sistema, este tipo de interferencia es difícil de controlar en la práctica debido a los fenómenos aleatorios en la propagación. Aún más difícil de controlar es la interferencia no producida por el sistema, que normalmente es debida a los productos de intermodulación en otras bandas, o a la interferencia debida a las bandas vecinas del sistema.

INTERFERENCIA COCANAL

El rehuso de frecuencias implica que en una determinada área de cobertura existirán varias células que utilizaran el mismo grupo de frecuencias. Estas células se denominan células cocanal y la interferencia entre estas es denominada interferencia cocanal. Ésta interferencia no puede ser combatida con solo aumentar la potencia de transmisión de la portadora. Esto es porque un incremento en la potencia de la portadora incrementa la interferencia a las células cocanal. Para reducir este tipo de interferencia es necesario que las células cocanal estén físicamente separadas una mínima distancia para que se tenga un aislamiento suficiente debido a las pérdidas por propagación.

Quando el tamaño de cada célula es aproximadamente el mismo, y las estaciones base transmiten con la misma potencia, la razón de la interferencia cocanal es independiente de la potencia transmitida y se convierte en una función del radio (R) de la célula y la distancia al centro de la próxima célula cocanal (D), con el incremento de la razón de D/R la separación espacial se incrementa entre las células cocanal con relación a la distancia de cobertura de una célula. Entonces, la interferencia se ve reducida por aislamiento de la energía de RF entre las células cocanal. El parámetro Q, llamado la razón de rehuso del canal, se relaciona con el tamaño del cluster (arreglo de células en las que se utilizan solo una vez los grupos de frecuencias). Para una geometría hexagonal, se tiene $Q = D/R = \sqrt{3N}$ (donde N es tamaño del cluster). Un valor pequeño de Q provee una gran capacidad ya que el tamaño del cluster es pequeño, mientras que un valor grande de

Q implica mayor calidad en la transmisión, debido a un nivel pequeño de interferencia cocanal. Es por eso que es necesario un equilibrio entre estos dos objetivos para el diseño celular.

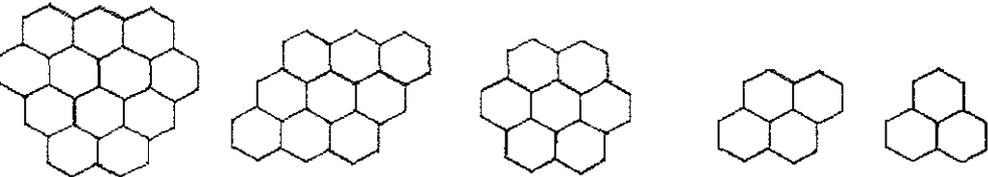


Figura 2.1.10 Diferentes tamaños de clusters, con N =12, 9, 7, 4 y 3 respectivamente

La siguiente tabla muestra la capacidad de canales por célula para ciertos tamaños de clusters [1].

N	$D/R = \sqrt{3N}$	C/N (dB)	Capacidad de canales por célula ($416/N$)
3	3	-11	138
4	3.46	-13	104
7	4.58	-18	59
9	5.19	-20	46
12	6	-23	34

INTERFERENCIA POR CANAL ADYACENTE

La interferencia que resulta de las señales que son adyacentes en frecuencia a la señal deseada, se denomina *interferencia por canal adyacente*; esta es debida a la imperfección de los filtros de recepción, que permiten el paso de frecuencias próximas a la frecuencia de recepción en cuestión, lo que ocasiona dificultades en discriminar la señal del usuario móvil de la señal del móvil que es adyacente al canal en cuestión.

La interferencia por canal adyacente puede ser minimizada a través de filtros muy discriminativos y de una correcta asignación de frecuencias. Debido a que cada célula tiene solo una fracción de los canales disponibles, una célula necesita que no le sean asignados canales adyacentes en frecuencia. Teniendo cuidado de la separación en frecuencia de los canales en una célula sea tan grande como sea posible, este tipo de interferencia puede ser reducido considerablemente.

Conforme la demanda del servicio celular incrementa, el número de canales asignado a una célula es eventualmente insuficiente para soportar el número de usuarios. En ese momento, es necesario proveer más canales de voz por unidad de área. En la práctica, se utilizan técnicas tales como la sectorización o la división de las células (*cell splitting*) para expandir la capacidad de los sistemas celulares. La división de las células permite un crecimiento ordenado de los sistemas celulares; mientras que para la

sectorización se usan antenas direccionales para controlar mejor la interferencia y la frecuencia de rehúso de los canales.

La división de las células (*cell splitting*) es el proceso de subdividir una célula congestionada en células mas pequeñas, cada una con su propia radiobase y una reducción correspondiente en altura y potencia. Esta técnica incrementa la capacidad del sistema celular debido a que incrementa el número de veces que los canales son reutilizados. Definiendo nuevas células que tienen un radio mas pequeño que las células originales e instalando estas células entre las células existentes, la capacidad se incrementa debido a número adicional de canales por unidad de área.

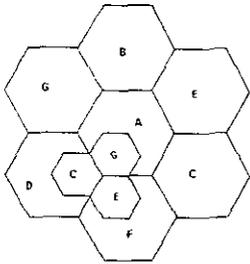


Figura 2.1.11 Subdivisión de células

La técnica para disminuir la interferencia con el uso de antenas direccionales se llama sectorización, una célula es particionada normalmente en tres sectores de 120°

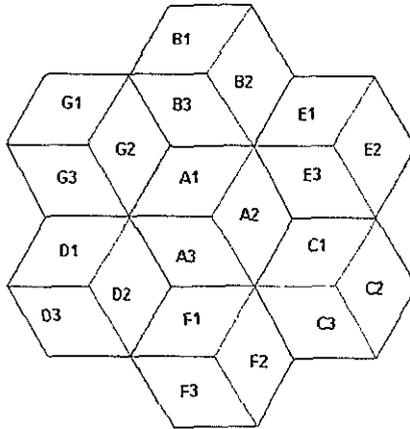


Figura 2.1.12 Uso de la sectorización como técnica para la reducción de interferencia

2.2 CDMA: ACCESO MULTIPLE POR DIVISION DE CODIGO

Acceso Múltiple por División de Código (CDMA) es una tecnología de modulación de espectro esparcido donde los canales comparten la misma banda de frecuencia simultáneamente y donde cada uno está definido por medio de códigos matemáticos.

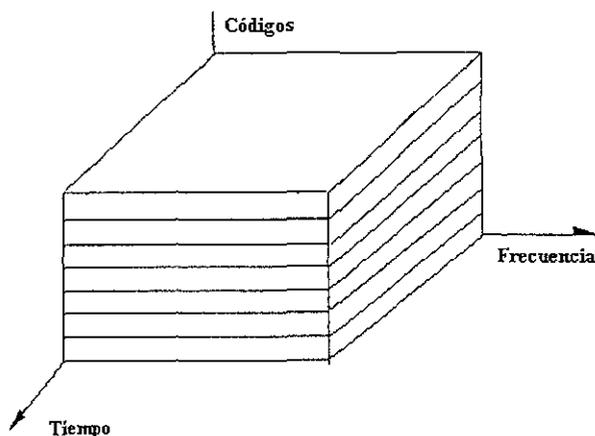


Figura 2.2.1 Esquema de CDMA

A continuación se describe la norma IS-95 CDMA [8] la cual usa la técnica DS-SS (*Direct Sequence - Spread Spectrum*) que consiste en mezclar los datos de entrada con una secuencia de esparcimiento rápido y transmitir una señal de banda ancha.

2.2.1 DESCRIPCION GENERAL DE LA RED

Considérese el esquema de la figura 2.2.2, en donde se muestra un diagrama de bloques con la estructura general de un sistema CDMA que funciona bajo la norma IS-95. A continuación se procederá a explicar brevemente cada uno de dichos bloques.

- **MTX (*Mobile Telephone Exchange*):** En general el MTX provee funciones de procesamiento como conmutación de llamadas entre las radiobases del sistema y con otros operadores tanto alámbricos como inalámbricos así como funciones de control y señalización. También se realizan funciones de enrutamiento y transferencia de llamada con sistemas en otra plataforma.

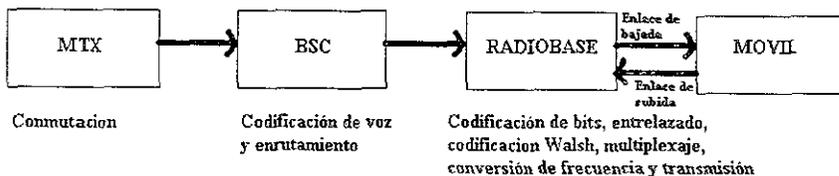


Figura 2.2.2 Estructura general de una red CDMA

- **BSC (Base Station Controller):** El BSC lleva a cabo funciones de enrutamiento de datos y de codificación de voz en donde utiliza un componente especial llamado *vocoder* que es el que lleva a cabo la conversión de la voz en bits. Realiza también funciones de transferencia de llamada dentro del propio sistema.
- **Radiobase:** La radiobase es la que proporciona el enlace de RF con el usuario. A éste nivel se llevan a cabo funciones de codificación de bits utilizando códigos de redundancia cíclica y convolucional. Se realizan también el entrelazado de bits así como la identificación de cada usuario en particular mediante códigos matemáticos especiales llamados *códigos Walsh* así como el multiplexaje con el resto de los usuarios y los canales piloto, de sincronía y de búsqueda para finalmente llevar a cabo la conversión de frecuencia y la transmisión al móvil.
- **Móvil:** El móvil es simplemente el medio con el cual se establece la comunicación final con el usuario y con el que la radiobase establece los enlaces de bajada y de subida. Se encarga de realizar la contraparte de todo el procesamiento que se efectúa en la señal tanto de la BSC como de la radiobase; es decir, detecta la señal de radiofrecuencia, identifica el código *Walsh* que corresponde a su llamada, reacomoda los bits deshaciendo los efectos del entrelazado, decodifica los códigos convolucional y de redundancia cíclica y finalmente transforma los bits en voz.

2.2.2 CANAL DE BAJADA (FORWARD CHANNEL)

Este canal se utiliza para la transmisión de la radiobase hacia la estación móvil. Un canal de bajada consiste de una señal compuesta de hasta "64 canales de bajada". Algunos de esos canales se utilizan para transportar tráfico de usuario y otros son canales que el sistema necesita para operar de una manera correcta.

Para diferenciar entre los 64 canales se utiliza una serie de 64 códigos matemáticos que son llamados *códigos Walsh*. Estos códigos constan de 64 bits cada uno y cada código es ortogonal a los demás, lo que permite reconocer, y por tanto extraer, un código en particular. El código número cero se utiliza para el canal piloto; el número 32 se utiliza para el canal de sincronía; del 1 al 7 para búsqueda y el resto de los canales se utilizan para tráfico.

Cada estación base se encuentra rodeada a su vez por otras radiobases que transmiten también en el canal de bajada en la misma frecuencia. Para poder distinguir entre

los diferentes sectores y radiobases se utilizan dos secuencias binarias llamadas códigos PN cortos (*Short PN codes*) y que pueden ser utilizadas hasta con 512 diferentes *offsets*. Las dos secuencias son llamadas secuencias I y Q. Además, cada secuencia es especial ya que es ortogonal a una copia de ella misma con un *offset* adecuado.

CANAL DE TRAFICO (*TRAFFIC CHANNEL*)

En el siguiente dibujo se muestra el proceso de la señal de voz para el canal de bajada [5]:

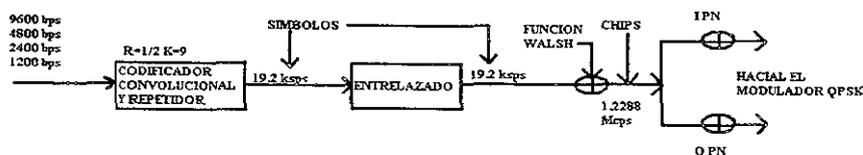


Figura 2.2.3 Generación del canal de tráfico en el canal de bajada

Como se observa, el primer paso consiste en transformar la voz a una señal binaria. Para realizar esto se utiliza un *vocoder* que transforma la señal de voz en una secuencia binaria de 9600 bps, 4800 bps, 2400 bps o 1200 bps (para un *vocoder* de 8kb). La variación en la tasa de transmisión se debe a que el *vocoder* toma en cuenta la variación de la actividad de la voz, por lo que dependiendo de ésta actividad se transmite a alguna de las tasas anteriores.

Después de éste paso, la señal se pasa a un proceso de codificación en donde se le añaden bits de redundancia. El primer paso de éste proceso es aplicar a la señal un código CRC (*cyclic redundancy check*) y se utiliza para indicar la calidad de cada trama transmitida. Éste paso sólo se utiliza cuando se transmite a las tasas de transmisión de 9600 o 4800 bps.

Si el *vocoder* transmite a su máxima tasa de transmisión entonces cada trama consiste de 192 bits, 172 de los cuáles son bits de información, 12 son los bits de redundancia generados por el código CRC en base a los bits de información y los 8 bits restantes se ponen todos a cero para indicar el final de una trama. En el caso de que no se transmita a la máxima tasa entonces los símbolos se repiten para poder mantener la trama constante de 192 bits.

Además de utilizar códigos CRC, la señal se codifica aún más por medio de la utilización de códigos convolucionales y así mejorar la detección y corrección de errores. El enlace de subida utiliza un código convolucional con una $R=1/2$ y una $K=9$ lo que implica que al final de éste proceso la trama de bits pasa de 192 bits a 384 bits.

A continuación la señal pasa a un proceso llamado de "entrelazado". El entrelazado es una técnica que permite volver aleatorios los bits del mensaje para que de ésta manera las ráfagas de errores introducidas por el canal de transmisión se puedan convertir en errores aleatorios. Para éste caso, el canal de subida utiliza una matriz de 24×16 . El mensaje se trunca en 24 partes que se colocan en los 24 renglones de la matriz; enseguida se lee el mensaje de arriba hacia abajo y columna por columna. El resultado es un mensaje aleatorio el cual se envía por el canal.

La señal ahora a una tasa de 19.2 ksp/s (kilosímbolos por segundo) se esparce ortogonalmente utilizando un código *Walsh* para identificar dicha señal. En ésta etapa los bits dejan de llamarse como tal y se acostumbra llamarles símbolos. Debido a que cada símbolo se esparce por un factor de 64 (la longitud del código *Walsh*) la señal resultante tiene una tasa de 1.2288 Mcps (Mega chips por segundo). Ahora, después de la codificación de *Walsh*, los símbolos reciben el nombre de chips. Cabe aclarar que al igual que los bits, los símbolos y chips son sólo secuencias de 1's y 0's y sólo reciben éste nombre para identificar etapas específicas del procesamiento de la señal.

La señal resultante se esparce aún más con las secuencias PN cortas de modo que cada sector de cada radiobase se identifique unívocamente.

Ésta señal alimenta al modulador QPSK en donde a la señal se le da una ganancia y se le adhiere a las señales de los demás usuarios para formar una señal compuesta para las secuencias I y Q por separado.

Finalmente se les modula a la frecuencia de transmisión y se suman las señales I y Q para formar la señal compuesta única que se va a transmitir.

CANAL PILOTO (*PILOT CHANNEL*)

Ésta señal consiste de una cadena de ceros esparcida por la función *Walsh* cero (conformada por 64 bits puestos a cero). El móvil utiliza éste canal para la adquisición inicial del sistema además de que le provee de una referencia en sincronía y fase para una demodulación coherente. Éste canal se transmite en forma constante hacia el móvil ya que la medición de la relación señal a ruido de éste canal (E_c/I_n) indica cual es el sector más fuerte sirviendo al móvil y por lo tanto lo ayuda a adquirir radiobases que le puedan servir y a identificar candidatos para transferencia de llamada.

CANAL DE SINCRONIA (*SYNC CHANNEL*)

Éste canal provee parámetros esenciales al móvil para su sincronización con el sistema. La trama de éste canal tiene una duración de $26 \frac{2}{3}$ ms transmitiendo a 1200 bps. Utiliza el código *Walsh* número 32 para su fácil adquisición (32 ceros seguidos de 32 unos). La radiobase adquiere la sincronía por medio del sistema GPS (*Global Position System*).

CANAL DE BUSQUEDA (PAGING CHANNEL)

La radiobase utiliza éste canal para transmitir al móvil mensajes específicos. Cada sector puede manejar hasta 7 canales de búsqueda, del código *Walsh* 1 hasta el 7 aunque el móvil sólo monitorea uno de ellos. Este canal puede transmitir a 4800 bps o a 9600 bps.

2.2.3 CANAL DE SUBIDA (REVERSE CHANNEL)

El canal de reversa comienza sus funciones cuando la llamada ya se encuentra en progreso soportando las mismas tasas de transmisión que en el enlace de bajada. Éste canal utiliza secuencias PN largas para distinguir entre un usuario y otro en lugar de las secuencias PN cortas utilizadas en el caso anterior.

CANAL DE TRAFICO (TRAFFIC CHANNEL)

Considérese el siguiente esquema [5]:

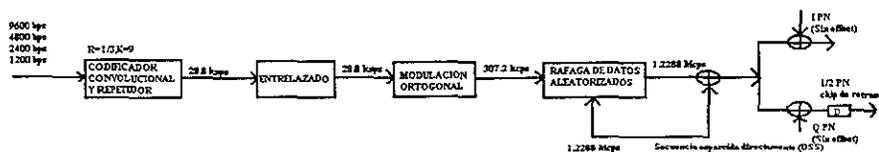


Figura 2.2.4 Generación del canal de tráfico en el canal de reversa

Al igual que en el enlace de bajada, el primer paso consiste en transformar la voz a una señal binaria. Para realizar esto se utilizan las mismas tasas de transmisión, es decir 9600 bps, 4800 bps, 2400 bps o 1200 bps (para un *vocoder* de 8kb). Se utiliza también el mismo esquema de codificación con la única diferencia de que para la codificación convolucional se tiene un $R = 1/3$. Para el caso del entrelazado éste canal utiliza una matriz de 32×18 para entrelazar los 576 símbolos provenientes del codificador convolucional.

A diferencia del canal de bajada en donde los códigos *Walsh* se utilizaban para esparcir ortogonalmente la señal a transmitir, aquí se utilizan para modular ortogonalmente. Un código *Walsh* de los 64 existentes se utiliza para representar a un grupo de 6 símbolos. La razón de utilizar 6 símbolos se debe a la naturaleza no coherente de éste enlace; para la radiobase es más fácil procesar grupos de seis símbolos decidiendo cuál código *Walsh* fue enviado en el periodo que detectar cada símbolo por separado.

Los datos modulados se enmascaran con un patrón de 1's y 0's resultando en una tasa de transmisión variable tomando ventaja del factor de actividad de la voz en el enlace de reversa. Éste esquema es diferente al canal de bajada debido a que los requerimientos de control de potencia en éste enlace son más estrictos

Enseguida los datos se adhieren en modulo dos con la secuencia PN larga en un proceso llamado secuencia esparcida directa (DSS, *direct sequense spreading*), identificando así a cada usuario en particular.

Los datos se esparcen en cuadratura adhiriéndolos en módulo 2 con las secuencias PN cortas I y Q (sin *offset*) utilizadas en el canal de bajada. La secuencia Q se retrasa por medio chip PN de duración (406.901 ns) permitiendo al amplificador del móvil trabajar adecuadamente. Finalmente la señal en banda base se convierte a la señal de 1900 MHz para su transmisión.

CANAL DE ACCESO (*ACCESS CHANNEL*)

Este canal es utilizado por el móvil para iniciar comunicación con la radiobase y para responder mensajes de búsqueda. Los datos en éste canal se transmiten a una tasa fija de 4800 bps.

2.2.4 AISLAMIENTO DE LOS USUARIOS

Para evitar interferencias entre los canales de voz enviados a los móviles en el enlace de bajada se utilizan 64 códigos *Walsh* binarios que son mutuamente ortogonales. Para poder llevar a cabo la canalización utilizando estos códigos se utiliza la siguiente equivalencia:

“1” binario = “1” analógico

“0” binario = “-1” analógico

Considérese ahora a tres usuarios que van a mandar los siguientes mensajes (ya en formato analógico):

$$m_1 = [+1 -1 -1] \quad m_2 = [+1 +1 -1] \quad m_3 = [-1 +1 -1]$$

Y que van a utilizar los siguientes códigos *Walsh* (para éste ejemplo se utilizan códigos *Walsh* de 4 bits):

$$W_1 = [-1 +1 -1 +1] \quad W_2 = [-1 -1 +1 +1] \quad W_3 = [-1 +1 +1 -1]$$

A continuación cada bit del mensaje se esparce (multiplica) con su código *Walsh* asignado resultando las siguientes secuencias:

$$m_1 W_1 = [-1 +1 -1 +1 +1 -1 +1 -1 +1 -1 +1 -1]$$

$$m_2 W_2 = [-1 -1 +1 +1 -1 -1 +1 +1 +1 +1 -1 -1]$$

$$m_3 W_3 = [+1 -1 -1 +1 -1 +1 +1 -1 +1 -1 -1 +1]$$

Las señales así esparcidas se suman a continuación para formar una señal compuesta de la siguiente manera:

$$C_1 = [-1 -1 -1 +3 -1 -1 +3 -1 +3 -1 -1 -1]$$

Ésta señal compuesta es la que transmite al móvil el cuál se encarga de demodularla llevando a cabo el siguiente proceso: Cada móvil multiplica la señal compuesta que recibe por su código *Walsh* asignado el cuál se le indica a través del canal de búsqueda. Enseguida el receptor integra (adhiera) la señal sobre un periodo de bit (en éste caso dicho período vale cuatro; es decir, la longitud del código *Walsh*) resultando:

$$\begin{aligned} C_1 W_1 &= [+1 -1 -1 +3 -1 -1 -3 -1 -3 -1 +1 -1] \\ M_1 &= [\quad \quad +2 \quad \quad -6 \quad \quad -4] \\ C_1 W_2 &= [+1 +1 -1 +3 +1 +1 +3 -1 -3 +1 -1 -1] \\ M_2 &= [\quad \quad +4 \quad \quad \quad +4 \quad \quad -4] \\ C_1 W_3 &= [+1 -1 -1 -3 +1 -1 +3 +1 -3 -1 -1 +1] \\ M_3 &= [\quad \quad -4 \quad \quad \quad +4 \quad \quad -4] \end{aligned}$$

Finalmente se estima el mensaje recibido aplicando las siguientes reglas:

$$\begin{aligned} m_e &= +1 & M > 0 \\ m_e &= -1 & M < 0 \end{aligned}$$

Finalmente se observa que los mensajes estimados coinciden con los enviados:

$$m_{e1} = [+1 -1 -1] \quad m_{e2} = [+1 +1 -1] \quad m_{e3} = [-1 +1 -1]$$

Para el enlace de subida se sigue un proceso similar al anterior diferenciándose en que en lugar de utilizar códigos *Walsh* éste enlace utiliza la secuencia PN larga para canalizar los mensajes de los usuarios.

2.2.5 AISLAMIENTO DE LAS RADIOBASES

Para diferenciar entre cada sector de cada radiobase se utiliza la secuencia PN corta la cual se esparce en cuadratura resultando en dos secuencias PN cortas llamadas I y Q. Cada célula utiliza las mismas secuencias PN cortas con diferentes *offsets* y se transmite a través del canal piloto.

La secuencia PN tiene una longitud de 64 chips y utiliza hasta 512 diferentes *offsets*.

Para identificar la radiobase que le está sirviendo, el móvil checa todos los canales pilotos; es decir, checa los 32,768 chips que resultan de los 512 *offsets* diferentes (64 chips/*offset* por 512 *offsets*). Esto lo realiza generando él mismo las secuencias I y Q y las correlaciona con la señal que le llega recordando los canales pilotos para los cuáles obtiene las potencias más fuertes quedándose con la más fuerte (o más fuertes si está en modo de transferencia de llamada) seleccionando por tanto la(s) radiobase(s) a la(s) que pertenezca(n) dicho(s) canal(es).

2.2.6 TRANSFERENCIA DE LLAMADA

En CDMA existen diferentes tipos de transferencia de llamada los cuales se definen a continuación:

TRANSFERENCIA DE LLAMADA SUAVE

Este tipo de transferencia de llamada se da cuando un móvil cambia la célula que le presta el servicio. Puede mantener comunicación simultánea hasta con tres radiobases diferentes por lo que el móvil nunca se ve obligado a interrumpir su transmisión ya que siempre tendrá al menos una célula prestándole servicio.

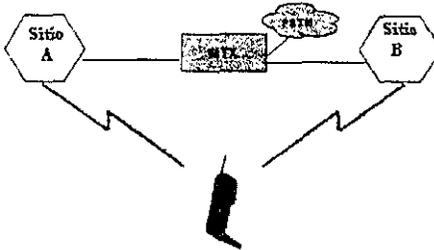


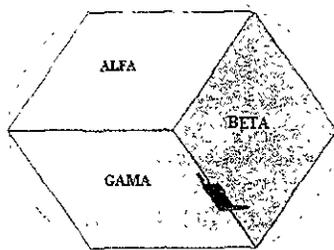
Figura 2.2.5 Transferencia de llamada suave

TRANSFERENCIA DE LLAMADA MAS SUAVE

Es un caso especial de la transferencia de llamada suave. Ocurre cuando un móvil cambia el sector que le presta el servicio pero no la célula.

TRANSFERENCIA DE LLAMADA DURA

Puede haber dos tipos de transferencia de llamada para éste caso. La transferencia de llamada de CDMA a CDMA se da cuando el móvil pasa de una portadora a otra utilizando el mismo MTX o bien se puede dar cuando el móvil cambia de MTX, para llevar a cabo éste proceso el móvil se ve obligado a dejar de transmitir, ajustar sus parámetros y recomenzar su transmisión.



2.2.6 Transferencia de llamada más suave

La transferencia de llamada CDMA a analógico se produce cuando una llamada en CDMA pasa a una región donde ya no hay servicio en CDMA y sólo existen servicios analógicos como es el caso de sistemas AMPS.

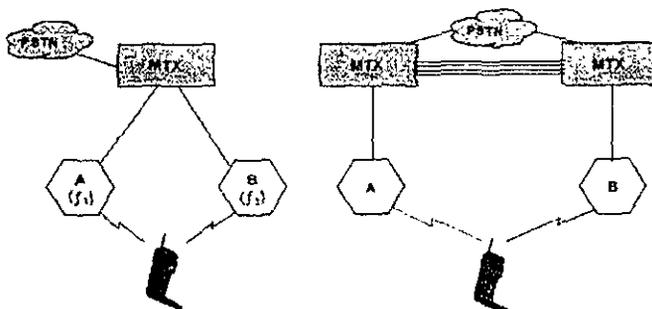


Figura 2.2.7 Transferencia de llamada dura: CDMA a CDMA

2.2.7 CONTAMINACION DE PILOTO

Como ya se mencionó uno de los problemas que más se busca evitar en CDMA es la interferencia con las células vecinas. En realidad siempre parte de la señal "invade" a las otras células; éste problema es llamado contaminación de piloto.

Para evitar lo más que se pueda éste problema es necesario maximizar el nivel de la señal dentro de la célula y minimizar la energía que se "desborda" sobre las demás células. Lo anterior se puede caracterizar con un modelo de dos pendientes que se unen en un "punto de ruptura" como se muestra en la figura 2.2 9

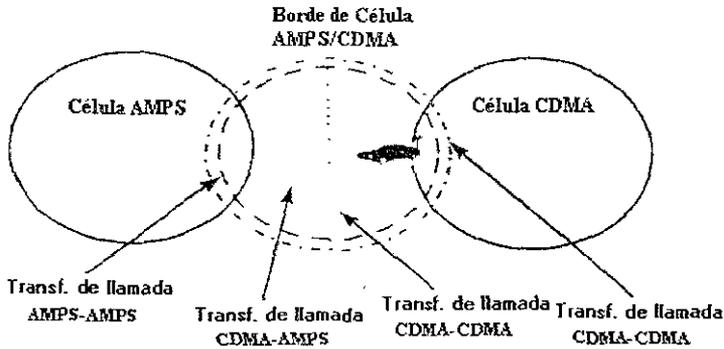


Figura 2.2.8 Transferencia de llamada dura: CDMA-Analógico

Como se observa, antes del punto de ruptura la señal se degrada lentamente con la distancia mientras que después del punto de ruptura la señal se degrada muy rápidamente.

El punto de ruptura se calcula con la siguiente relación:

$$B = 4 H h / \lambda \quad 2.2.1$$

donde

B = Longitud del punto de ruptura

H = Altura de las antenas de RF de la estación base

h = Altura de la antena del móvil

λ = Longitud de onda

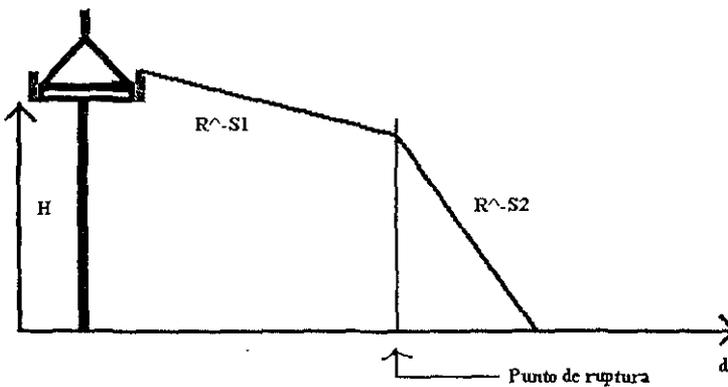


Figura 2.2.9 Modelo de dos pendientes

Las dos rectas que se producen tienen pendientes R^{-S1} y R^{-S2} respectivamente donde $S1 = 2$ a 2.5 y $S2 = 3$ a 4 .

Obviamente el punto de ruptura debe caer dentro del área de la célula. Además, la distancia D entre dos células vecinas debe cumplir con la relación:

$$D = 2R > 2B \quad 2.2.2$$

donde R es el radio de la célula.

2.2.8 SERVIDOR NO DOMINANTE

Un móvil que trabaja bajo los estándares de IS-95 puede detectar señales hasta con tres distintas fases. A partir de la cuarta señal el móvil solo “ve” interferencia y si estas señales son demasiadas inducen una degradación en la SIR (*Signal to interference rate*) de la señal compuesta. Una solución a éste problema es crear servidores dominantes de tal forma que hasta tres servidores tengan potencia alta y los demás potencia baja. La figura 2.2.10 muestra una situación en la que el móvil no tiene servidor dominante.

Una buena táctica para crear servidores dominantes es crear un diseño con los sectores orientados como se indica en la figura 2.2.11 a) y evitar un diseño como el mostrado en la figura 2.2.11 b).

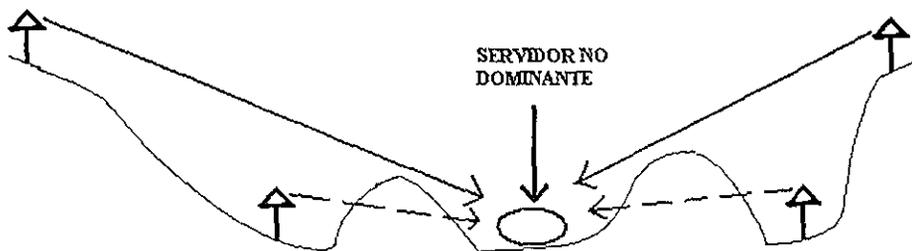


Figura 2.2.10 Ejemplo de servidor no dominante

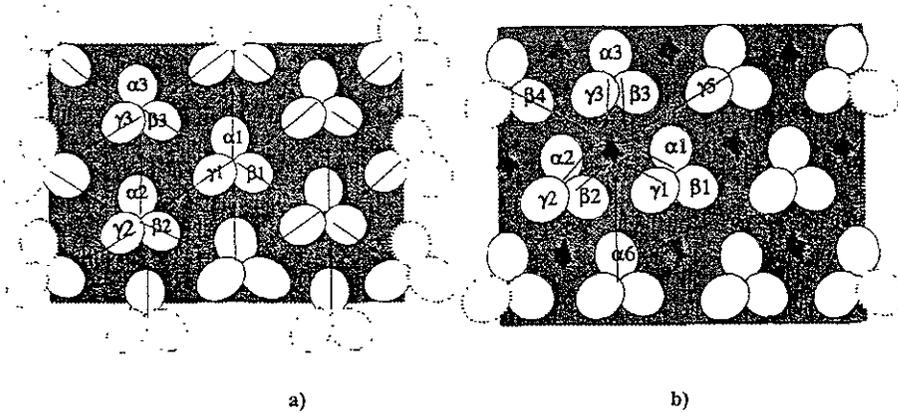


Figura 2.2.11 a) Servidor dominante y b) Servidor no dominante

2.2.9 INTERFERENCIA EN CDMA

INTERFERENCIA CO-PN

Dos radiobases que utilicen la misma secuencia PN corta (el mismo offset) necesitan estar separadas una distancia mínima para evitar que el móvil se confunda con ellas y “piense” que son la misma. El problema se ilustra en la figura 2.2.12:

Como se observa, el móvil se encuentra más cerca de la radiobase No. 2 que de la No. 1, de modo que la secuencia PN corta que identifica a la primera célula le llega con un retraso de Y chips y la que identifica a la segunda célula llega con un retraso de X chips. Debido a los retrasos en la propagación de las señales el móvil utiliza una ventana de búsqueda para interceptar la secuencia PN corta de la radiobase que le está sirviendo. Dicha ventana debe ser lo suficientemente amplia para captar la secuencia correcta y lo suficientemente angosta para discriminar secuencias que no son de las radiobases que le están sirviendo. Si dicha ventana se dimensiona mal de forma que puede captar las secuencias de las radiobases 1 y 2 (que son la misma secuencia) entonces el móvil interpretará la secuencia de la radiobase 1 (que llega después de la de la radiobase 2) como una señal de multitrayectoria de la secuencia de la radiobase 2 y por lo tanto confundiéndolas como una sola radiobase.

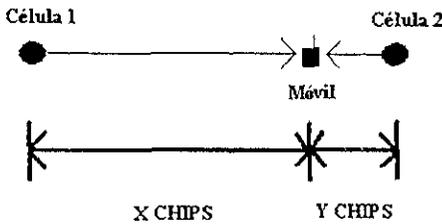


Figura 2.2.12 Confusión de secuencias Co-PN

Para evitar el problema de interferencia Co-PN las radiobases deben estar separadas una distancia tal que cumplan con la siguiente condición [5]:

$$d > 122 W + 2r$$

donde r es el radio de la célula 2 y W es el ancho de la ventana de búsqueda del móvil en chips. El ancho de la ventana de búsqueda se define simplemente como el rango de chips en el cual una radiobase rastrea la secuencia PN corta que espera; para ello se centra en el valor exacto de dicha secuencia y de ahí la busca una cierta cantidad de chips hacia delante y hacia atrás, los cuáles sumados resultan en el ancho de la ventana.

INTERFERENCIA DE PN ADYACENTE

Considérese nuevamente la situación de la figura 2.2.12 y considérese también que ahora las radiobases usan secuencias PN cortas adyacentes.

Debido al *offset* utilizado en las secuencias PN cortas la radiobase 1 transmite su secuencia primero que la radiobase dos por lo que existe una diferencia de I chips entre ambas.

Si la distancia entre ambas radiobases es corta y si la secuencia PN corta de la radiobase 1 cae dentro de la ventana de búsqueda del móvil, entonces el móvil podría interpretar que dicha secuencia es una componente “tempranera” de multitrayectoria de la secuencia PN corta de la radiobase 2 causando por tanto interferencia.

Para evitar que se presente la posibilidad anterior dos radiobases que tengan secuencias PN adyacentes deben estar separadas una distancia tal que se cumpla la siguiente regla [5]:

$$d < 244 I - 122 W + 2r$$

donde I es el intervalo de chips entre la transmisión de la secuencia PN de la radiobase 1 y la transmisión de la secuencia PN de la radiobase 2, r es el radio de la célula 2 y W es el ancho de la ventana de búsqueda del móvil en chips

2.2.10 REHUSO DE SECUENCIAS PN

En lugar de utilizar un plan de rechazo de frecuencias clásico en TDMA, en CDMA se necesita un plan de *offset* para las secuencias PN de modo que se pueda eliminar la posibilidad de interferencia de co-PN y PN-adyacente.

El estándar IS-95 recomienda utilizar una separación mínima entre *offsets* de las secuencias PN cortas de 64 chips. Lo anterior se logra asignando al parámetro PILOT_INC = 1. Este parámetro es un factor que define el estándar IS-95 y que se fija en la BSC, que nos dice cuanto de los 512 *offsets* disponibles podemos utilizar por medio de la relación 512 / PILOT_INC. Por lo tanto, con dicho parámetro puesto a 1 se pueden utilizar los 512 *offsets*.

Utilizar un valor alto de PILOT_INC ayuda a prevenir la interferencia causada por el PN-adyacente pero reduce el número de *offsets* que se pueden utilizar aumentando por tanto la interferencia por co-PN. Un buen diseño balancea muy bien el valor de PILOT_INC controlando así ambos tipos de interferencia.

2.2.1.1 FACTORES DE CAPACIDAD

Aquí se tienen que hacer algunas consideraciones tanto para el canal de bajada como para el canal de reversa:

CANAL DE SUBIDA

Se tienen las siguientes consideraciones para éste caso:

- La interferencia en el canal de reversa proviene de un gran número de fuentes de baja potencia como lo son los teléfonos móviles.
- Por lo tanto, si no hay tráfico, no hay interferencia en el canal de reversa.
- Dado que en el canal de reversa el control de potencia es casi perfecto, los móviles sólo transmiten potencia suficiente para mantener la calidad del enlace.
- Las transferencias de llamada suaves reducen la interferencia para éste canal.

La capacidad del enlace de reversa por sector se puede estimar por medio de la siguiente relación [5]:

$$M = \frac{W/R}{E_b/N_o} \frac{1}{1 + \eta} \lambda \frac{1}{v} + 1 \quad 2.2.3$$

en donde:

- M : Número de usuarios por sector
- BW/R : Es la ganancia de procesamiento y para una tasa del *vocoder* de 9600 bps se utiliza de 21 dB. El tener éste parámetro elevado permite extraer señales débiles por lo que más señales se pueden transmitir sobre el canal; es decir, la capacidad se incrementa.

- E_b / N_0 : Es la densidad de energía a ruido y se recomienda que oscile entre 5 a 7 dB. Incrementar ésta cantidad resulta en una mayor energía transmitida por usuario lo que produce un incremento en los requerimientos de energía para el canal; es decir, la capacidad decrece.
- η : Es el factor de carga y típicamente tiene un valor de 0.5 aunque puede oscilar entre 0 y 1. Conforme este factor se incrementa, aumenta también la interferencia producida por otras células; es decir, la capacidad disminuye.
- λ : Es la ganancia de sectorización y para 3 sectores éste valor oscila entre 2.2 y 2.5. Al sectorizar una célula se reduce la interferencia de otros usuarios; es decir, la capacidad aumenta.
- v : Es el factor de actividad de la voz y oscila entre un 40% y 50% y se recomienda usarlo al 45%.

Se recomienda que la capacidad en éste canal se utilice al 50 % (con $E_b / N_0 = 6.2$ dB) y como máximo al 70 %.

CANAL DE BAJADA

Aquí se tienen las siguientes consideraciones

- Para este caso el que recibe la interferencia es el móvil y ésta proviene de pocas fuentes pero de muy alta potencia como son la radiobase que le sirve y las radiobases vecinas.
- Este problema se acentúa debido a que los canales piloto, de sincronización y de búsqueda no tienen un control de potencia y por lo tanto transmiten a la potencia completa.
- Además, los canales llevan a cabo un control de potencia muy lento por lo que en un ambiente de desvanecimientos de la señal los móviles incrementan su potencia de transmisión a una tasa mayor que la necesaria creando interferencia extra a los otros móviles.
- Las transferencias de llamadas suaves incrementan la interferencia para éste canal.

La capacidad del canal de bajada se obtiene de la siguiente ecuación [5]:

$$N = \frac{1 - (f_{pil} + f_{pag} + f_{sin})}{g^1 \cdot R \cdot hrf \cdot v} \quad 2.2.4$$

donde:

- N : Número pico de usuarios promedio que un sector puede soportar
- $fpil$: La fracción correspondiente a la potencia utilizada en el amplificador de alta potencia por el canal piloto.
- $fpag$: La fracción correspondiente a la potencia utilizada en el amplificador de alta potencia por el canal de búsqueda.
- $fsin$: La fracción correspondiente a la potencia utilizada en el amplificador de alta potencia por el canal de sincronía.
- g^2 : la ganancia normalizada promedio del canal de tráfico del enlace de bajada
- R : La razón de la potencia de calibración a la potencia total del amplificador de alta potencia.
- hrf : Factor de reducción de transferencia de llamada (toma en cuenta la potencia de RF requerida según el tipo de transferencia de llamada).
- v : factor de actividad de la voz.

2.3 INGENIERIA DE TRAFICO

La ingeniería de tráfico estima lo siguiente:

- Número de células
- Número de radios para un sector o célula
- Pronósticos para la instalación de una nueva célula
- Tamaño de la central de celular.
- Número de troncales y circuitos de microondas.

Se debe evitar sobredimensionar o subestimar el sistema. Entre los problemas que un sobredimensionamiento causa están: costo excesivo, recursos insuficientes para construcción de la red, tráfico demasiado bajo, sistema improductivo. Entre los problemas que subestimar el sistema causa podemos mencionar: bloqueo, pobre rendimiento de la red o usuarios inconformes que cancelen el servicio.

Definiciones [5]:

ERLANG: Se define como el uso total de un circuito durante un intervalo de tiempo dividido entre el intervalo de tiempo. Un Erlang de tráfico se genera por un circuito que se usa en forma continua durante un periodo de tiempo de una hora.

TRÁFICO OFRECIDO: Es la cantidad de tráfico (en Erlangs) que los usuarios ofrecen a la red.

TRÁFICO TRANSPORTADO: Es el tráfico manejado exitosamente por el sistema.
Tráfico transportado = carga ofrecida \times (1 - tasa de bloqueo).

TRÁFICO BLOQUEADO: Es el tráfico que no puede ser manejado por el sistema y es la diferencia entre el tráfico ofrecido y el tráfico transportado. El tráfico bloqueado sólo se puede estimar basándonos en el número de intentos bloqueados (tasa de bloqueo) y en la duración promedio de las llamadas exitosas.

INTENSIDAD DE TRÁFICO: Es el número promedio de llamadas simultáneas que el sistema puede manejar y se mide en Erlangs.

PROBABILIDAD DE BLOQUEO Y GoS: Es la probabilidad de que una llamada sea bloqueada debido a que no existen canales disponibles. Ésta probabilidad está en función de la carga ofrecida y del número de canales disponibles y se evalúa para una hora pico. La probabilidad de bloqueo generalmente se conoce como Grado de Servicio (GoS)

2.3.3 TRAFICO EN CDMA

Al contrario de lo que sucede en TDMA, CDMA no impone un límite estricto al bloqueo de llamadas ya que cuenta con una característica especial: el bloqueo suave.

BLOQUEO SUAVE

El bloqueo suave se produce cuando, a pesar de que una célula cuente con canales libres, el nivel de interferencia producido por los usuarios que utilizan en ese momento la célula es tal que un usuario adicional incrementaría la interferencia por encima del límite provocando una mayor tasa de FER (Tasa de Tramas en Error) y de llamadas caídas.

La condición que se debe de cumplir para evitar el bloqueo suave es la siguiente [5]:

$$I_{total} \geq M E_b R (1 + \eta) + N \quad 2.3.1$$

donde

- I_{total} Interferencia total en el sistema
- M : número de usuarios en la misma célula
- E_b : Energía por bit
- R : Taza de transmisión
- N : Ruido térmico
- η : Factor de carga
- BW : Ancho de banda

De lo anterior se desprende que el número máximo de usuarios que una radiobase puede soportar sin provocar bloqueo suave es:

$$M_{maximo} = \frac{BW / R}{E_b / I_o} \cdot \frac{1 - \frac{N}{I_{total}}}{1 + \eta} \quad 2.3.2$$

Cabe aclarar que las ecuaciones anteriores se basan en un análisis para el canal de subida ya que frecuentemente éste enlace es el limitante del sistema en cuanto a capacidad se refiere.

BLOQUEO DURO

Durante una transferencia de llamada suave un móvil ocupa recursos de diferentes células al mismo tiempo. Considérese el siguiente dibujo:

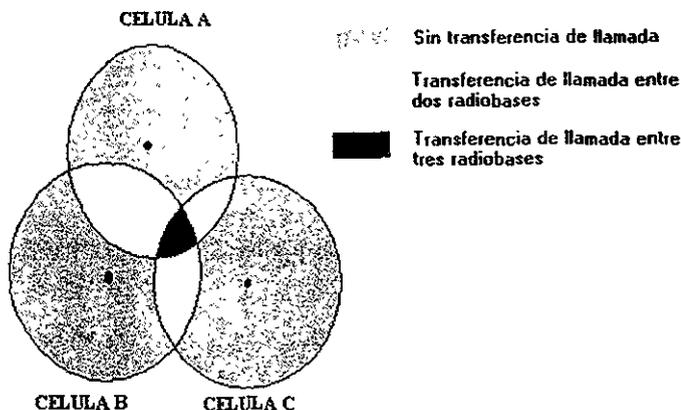


Figura 2.3.1 transferencia de llamada suave entre dos y tres células

Considérese también que el nivel de interferencia es suficientemente pequeño como para no tener bloqueo suave. Como se observa, una transferencia de llamada se puede realizar entre 2 e incluso entre tres radiobases de lo que se desprende que del total de usuarios utilizando el sistema un porcentaje utiliza una radiobase, otro porcentaje se encuentra en transferencia de llamada con dos *radiobases* y el resto se encuentra en transferencia de llamada con tres radiobases.

Lo anterior nos lleva a los conceptos de carga aparente y carga real. A diferencia de AMPS en dónde estos conceptos son equivalentes en CDMA tienen un significado distinto. La carga aparente [5] es la cantidad de carga que se factura a los usuarios mientras que la carga real [5] es la cantidad de carga que soporta el sistema incluyendo las transferencias de llamadas suaves entre dos y tres células utilizando, por tanto, recursos de tres radiobases diferentes.

La carga real se debe utilizar siempre como un parámetro para provisionar el número de canales en un sistema CDMA.

2.4 MODELOS DE PROPAGACION

La mayoría de los modelos de radiopropagación se derivan usando una combinación de métodos tanto analíticos como empíricos. El procedimiento empírico se basa en encontrar curvas o expresiones analíticas que involucren una cierta cantidad de datos obtenidos por medición. Este método tiene la ventaja de tomar en cuenta todos los factores de propagación, tanto conocidos como desconocidos. Sin embargo, la validez de un modelo empírico con una frecuencia de transmisión determinada o con unas características diferentes a aquellas usadas para determinar el modelo, sólo puede ser establecida con mediciones de datos adicionales en el nuevo ambiente a la frecuencia de transmisión requerida.

2.4.1 MODELO COST - 231

Este modelo es utilizado para ambientes urbanos densos y es válido para un rango de frecuencias que van desde los 800 MHz hasta los 2000 MHz. Este modelo se basa en varios parámetros, tales como la densidad de construcciones, promedio de la altura de los edificios, y ancho de los edificios. La altura de la antena es generalmente menor al promedio de la altura de los edificios, así que se asume que las señales son guiadas a través de las calles.

Para la propagación en la línea de vista (LOS) la ecuación de pérdidas en la trayectoria esta dada por [6]:

$$L_p(\text{LOS}) = 32.45 + 20 \log(f_{\text{MHz}}) + 20 \log(d_{\text{Km}}) \quad 2.4.1$$

Para propagación sin línea de vista (NLOS), la ecuación de pérdidas en la trayectoria esta dada por

$$L_p(\text{NLOS}) = L_p(\text{LOS}) + L_{\text{diff}} + L_{\text{mult}} \quad 2.4.2$$

Donde f es la frecuencia, d es la distancia, L_{diff} representa las pérdidas por difracción en los techos de los edificios, y L_{mult} representa las pérdidas por multitrayectorias debidas a las construcciones circundantes.

Considérense los siguientes parámetros:

h_b = Altura de la radiobase (de 4 a 50 mts)

h_m = Altura de la antena móvil (de 1 a 3 mts)

h_B = Altura de los edificios

$\Delta h_b = h_b \cdot h_B$

$\Delta h_m = h_B \cdot h_m$

b = Separación entre edificios (de 20 a 50 mts si no hay datos disponibles)

w = Ancho de la calle ($b/2$ si no hay datos disponibles)

ϕ = Ángulo de incidencia de la señal con respecto al suelo (90° si no hay datos)

L_{diff} se caracteriza por:

$$L_{diff} = -16.9 - 10 \log(w) + 10 \log(f_{MHz}) + 20 \log(\Delta h_m) + L_{ori} \quad 2.4.3$$

donde

$$L_{ori} = \begin{matrix} -10 + 0.354\phi & 0^\circ \leq \phi \leq 35^\circ \\ 2.5 + 0.075(\phi - 35^\circ) & 35^\circ \leq \phi \leq 55^\circ \\ 4.0 - 0.114(\phi - 55^\circ) & 55^\circ \leq \phi \leq 90^\circ \end{matrix} \quad 2.4.4$$

L_{ori} representa las pérdidas por el ángulo con que la señal incide en el suelo. Las pérdidas por difracción y esparcimiento se caracterizan por la siguiente ecuación:

$$L_{mult} = L_{bsh} + k_a + k_d \log(d_{Km}) + k_f \log(f_{MHz}) - 9 \log(b) \quad 2.4.5$$

donde:

$$L_{bsh} = -18 \log(1 + \Delta h_b) \quad 2.4.6$$

$$k_a = \begin{matrix} 54 & \Delta h_b > 0 \\ 54 + 0.8 |\Delta h_b| & \Delta h_b \leq 0 \text{ y } d_{Km} \geq 0.5 \\ 54 + 0.8 |\Delta h_b| (d_{Km}/0.5) & \Delta h_b \leq 0 \text{ y } d_{Km} < 0.5 \end{matrix} \quad 2.4.7$$

$$k_d = \begin{matrix} 18 & \Delta h_b > 0 \\ 18 + 15 (|\Delta h_b| / h_B) & \Delta h_b \leq 0 \end{matrix} \quad 2.4.8$$

$$k_f = \begin{matrix} -4 + 0.7 [(f/925) - 1] & \text{para áreas suburbanas} \\ -4 + 1.5 [(f/925) - 1] & \text{para áreas urbanas} \end{matrix} \quad 2.4.9$$

Para la obtención de las ecuaciones anteriores, se asumió que la altura de la estación base es mayor a la de las construcciones pequeñas, y menor a la de las construcciones altas.

2.4.2 MODELO DE HATA PARA 1900 MHz

Éste modelo también es ampliamente utilizado en los diseños de sistemas PCS en la banda de 1900 MHz. Funciona bajo la siguiente ecuación [6]:

$$L_{\text{Hata}} = 46.3 + 33.9 \log f_{\text{MHz}} - 13.82 \log h_b + (44.9 - 6.55 \log h_b) \log R_{\text{Km}} + c \quad 2.4.10$$

donde

f_{MHz} = es la frecuencia de operación en MHz

h_b = altura de la radiobase

R_{Km} = Radio de la cobertura en Km

c = parámetro de ajuste que vale "0" para ambientes urbano denso y vale "3" para ambientes urbanos y suburbanos

Éste modelo es una derivación del modelo de Hata para la banda de 800 MHz y es muy similar al modelo COST-231. La siguiente tabla [6] muestra cuando se debe utilizar cada modelo en base a las pérdidas por propagación y el radio de cobertura deseado:

Radio mínimo	L _{Hata} dB	L _{COST-231} dB
1 Km	137.03	139.45
2 Km	147.63	150.89
3 Km	153.84	157.58
4 Km	158.24	162.33
5 Km	161.656	166.01

2.5 DISEÑO

2.5.1 METAS DEL DISEÑO DE RF

El concepto de telefonía móvil tiene su mayor problema en la congestión del espectro y la capacidad del sistema. Se puede ofrecer una muy alta capacidad de usuarios en una porción de espectro limitada sin muchos cambios tecnológicos. En si éste concepto reemplaza un transmisor de gran potencia por muchos transmisores de baja potencia, cada uno de ellos cubriendo solo una pequeña porción del área de servicio.

Se tienen tres principales metas cuando se inicia un diseño de RF: cobertura, capacidad y calidad.

El principal objetivo en el diseño de una red de RF es controlar la interferencia tanto como sea posible y para ello el factor determinante tanto en la cobertura como en la capacidad es la relación Señal a (ruido + interferencia) (SNIT).

Un sistema de PCS puede operar en dos regiones:

- Cobertura-limitada: La $SNIR = SNR$ (relación señal a ruido). Para incrementar la SNR se incrementa la potencia de la señal. Éste es un ambiente típico en sistemas que utilizan TDMA
- Interferencia limitada: La $SNIR = SIR$ (relación señal interferencia). Este es el escenario más común y para incrementar la SIR es conveniente reducir la interferencia más que aumentar la potencia de la señal. Aquí lo importante es evitar lo más posible la interferencia con las células vecinas. Es un ambiente típico en sistemas que utilizan CDMA

Para diseñar un sistema de comunicaciones personal móvil se necesita desarrollar los siguientes pasos:

- Requerimientos y especificaciones
- Consideraciones de tráfico y capacidad del sistema
- Mediciones de la potencia de la señal
- Aislamiento de los usuarios y de las estaciones base
- Estudio de la ruta de enlace (Link Budget)
- Modelo de propagación
- Predicción de la cobertura
- Localización, renta y adquisición del sitio

A continuación se explicará brevemente en que consiste cada uno de los puntos anteriores.

2.5.2 REQUERIMIENTOS Y ESPECIFICACIONES

Son criterios de desarrollo que se deben seguir antes de iniciar el diseño del sistema, entre los que se encuentran

- **TASA DE BIT EN ERROR (BER) [5]:** Esta información se requiere en el estudio de la ruta de enlace para determinar un umbral que permita realizar una transmisión confiable. Se utiliza principalmente en sistemas que utilizan TDMA. Para sistemas que utilizan CDMA se utiliza preferentemente la tasa de tramas en error (FER).
- **CALIDAD DEL SERVICIO (QoS) [5]:** Se refiere a la especificación de que tan fuerte es la señal en un área de cobertura dada. Por lo regular se establece en términos de confiabilidad de la cobertura y tiene valores típicos de 75% en los bordes de la célula y de 90% dentro de la célula.
- **EQUIPO:** Definir la potencia de transmisión de la radiobase y del móvil, figura de ruido y sensibilidad, ganancia de las antenas, cables y pérdidas por inserción, frecuencia de operación, regulaciones, etc.
- **RUTA DE ENLACE [5]:** Es simplemente una compilación de ganancias y pérdidas que nos permite obtener una estimación del radio de cobertura.

2.5.3 CONSIDERACIONES DE TRAFICO Y CAPACIDAD DEL SISTEMA

Se necesita tener la siguiente información:

- Grado de Servicio (GoS)
- Número de suscriptores
- Intensidad de tráfico (*Erlang/Suscriptor*)
- Localización y distribución de los suscriptores
- Patrones de llamada

Lo anterior permite hacer estimaciones acerca del número y ubicación de las radiobases que necesitará el sistema

2.5.4 MEDICIONES DE LA POTENCIA DE LA SEÑAL

Consiste en un análisis de propagación de RF en el mundo real. Comúnmente es llamado "*drive test*". En base a los resultados arrojados en ésta prueba se pueden llevar a cabo modificaciones al diseño original de un sistema.

2.6 RUTA DE ENLACE

El análisis de la ruta de enlace permite encontrar el equilibrio entre los niveles de la señal transmitida tanto en el canal de bajada como en el de subida. En éste cálculo intervienen las pérdidas y ganancias en la trayectoria de la señal.

El cálculo de la ruta de enlace envuelve las siguientes consideraciones:

- El sistema debe mantener un cierto grado de disponibilidad y ser extremadamente realizable.
- La disponibilidad se expresa como un porcentaje: Una disponibilidad del enlace del 99.99% significa que el sistema estará fuera de servicio durante 52.56 minutos por año.
- Una alta disponibilidad del enlace significa un área de cobertura pequeña.
- El resultado del análisis de la ruta de enlace es un radio de cobertura.

El objetivo principal del análisis de la ruta de enlace es asegurar que los canales de subida y de bajada se encuentren balanceados en cuanto a los márgenes de pérdidas de la trayectoria.

2.6.1 EL BALANCE DEL ENLACE

Se dice que los canales de subida y de bajada se encuentran balanceados cuando se cumple la siguiente condición para ambos casos [5]:

$$\text{Potencia(Tx)} - \text{Pérdidas(Tx)} + \text{Ganancias(Rx)} = \text{Sensibilidad(Rx)}$$

o en forma más detallada:

$$\text{PIRE(Tx)} - \text{L(esparcimiento)} - \text{L(penetración)} - \text{L(sombras)} - \text{L(desvanecimiento)} + \text{G(Rx)} = \text{Sensibilidad(Rx)}$$

La figura 2.6.1 ilustra el ejemplo anterior.

Por otro lado, para determinar la máxima pérdida permitida a lo largo de la trayectoria (MPPT) entre el transmisor y el receptor se tiene la siguiente ecuación:

$$\text{MPPT} = \text{L(esparcimiento)} + \text{L(penetración)} + \text{L(sombra)} + \text{L(desvanecimiento)}$$

Esta ecuación sirve para determinar la cobertura de la célula en base al modelo de propagación escogido.

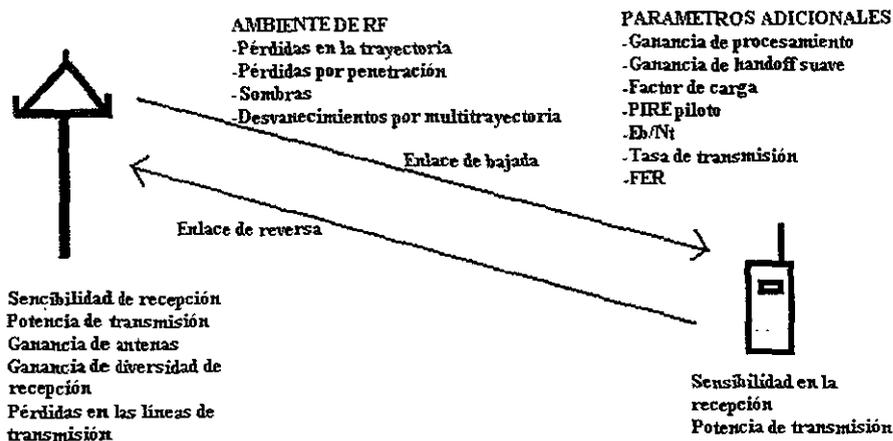


Figura 2.6.1 Ruta de enlace

2.6.2 SISTEMA DE ANTENAS

- Antenas de la estación base: Estas antenas se escogen para que sean altamente direccionales y de alta ganancia y se escogen dependiendo del ambiente de RF y del tipo de cobertura de tal manera que se adapten a la geometría de la célula a la que pertenezcan. En general se tienen dos tipos:

Áreas de interferencia limitada: Se recomienda un ancho del haz de 65° en el plano horizontal.

Áreas de cobertura limitada: Se recomienda un ancho del haz de 90° en el plano horizontal

Por lo general las áreas urbanas densas, urbanas y suburbanas se consideran de interferencia limitada y las áreas rurales y de carreteras se consideran de cobertura limitada.

- Antena del móvil: Éstas tienden a tener un patrón de radiación omnidireccional y con ganancia de 0 dBi. Para estos casos se considera que el PIRE es igual que la máxima potencia de transmisión.

2.6.3 SENSIBILIDAD DEL RECEPTOR

La sensibilidad del receptor, esto es, la señal más débil que se puede recibir y recobrar y aún proveer una operación aceptable, se determina con la siguiente ecuación [5]:

$$S \text{ (dBm)} = E_b / N_o + NF + 10 \log BW - 174 \quad 2.7.1$$

donde

- E_b / N_o : Ésta cantidad se escoge de tal manera que se obtenga una BER (FER) que soporte una calidad de voz aceptable y pueda combatir los desvanecimientos ocasionados por los desvanecimientos rápidos.
- NF: La figura de ruido (NF) de un sistema es una medida del nivel de ruido que introduce el sistema receptor.

2.6.4 CONFIABILIDAD DE LA COBERTURA

También conocida como calidad en el servicio (QoS, por sus siglas en inglés) y se define como la probabilidad de que la señal instantánea recibida tenga un valor más grande que un umbral especificado. Esto es necesario para asegurar un margen de desvanecimiento que compense las variaciones de las pérdidas de propagación. Lo anterior se puede lograr utilizando más potencia de transmisión lo que también puede implicar una disminución en el radio de la célula.

Típicamente el QoS tiene un valor de 75 % en el límite de una célula para un sistema móvil.

2.6.5 VARIACION DE LA SEÑAL

Las variaciones en el terreno que abarca una célula puede afectar las pérdidas en la trayectoria para diferentes zonas aún teniendo la misma separación transmisor-receptor, por lo que es necesario saber que tanto en la realidad la señal se desvía de su valor de predicción para lo cuál es recomendable obtener una gráfica que confronte la fuerza de la señal y la distancia en donde por lo regular los datos se distribuyen de manera muy aleatoria haciéndose necesario asociar estos datos con alguna distribución probabilística. Como resultado se obtiene un nivel medio de la señal como función de la distancia como se muestra en la figura 2.6.2.

La desviación estándar proporciona una medida de que tanto la señal se desvía de su valor medio.

Lo anterior nos dice la probabilidad de que la fuerza de la señal sea igual o supere al valor medio es de 50% lo que implica que un suscriptor en el área de cobertura recibirá una señal arriba del valor mínimo con una probabilidad de un medio. Se debe aumentar entonces la confiabilidad de la cobertura, y esto se logra agregando un margen a la máxima pérdida en la trayectoria permitida.

Para entender lo que es el margen primero se definen otros conceptos

DESVANECIMIENTO LOGNORMAL : Ocurre a una tasa mucho más baja que el desvanecimiento rápido y se debe a los efectos combinados de la difracción de la señal debido a los edificios y a la variación del terreno.

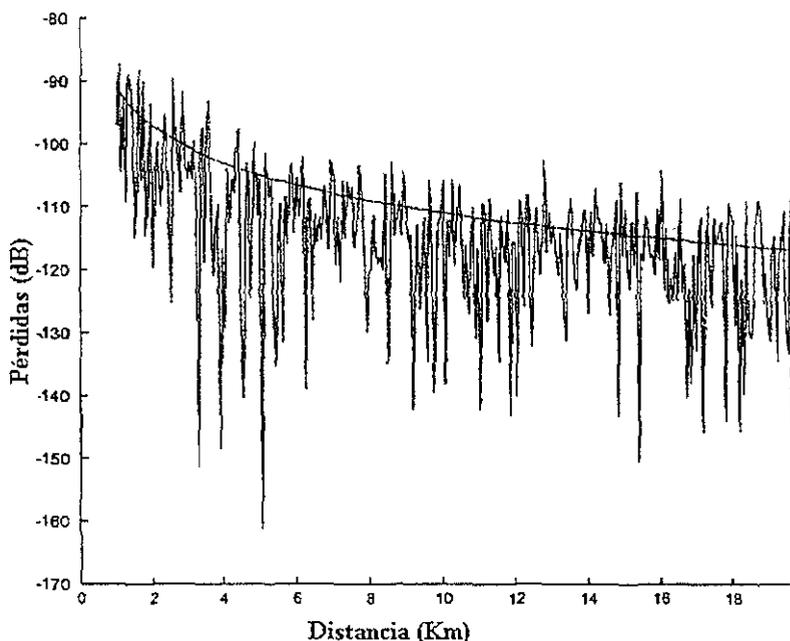


Figura 2.6.2 Fuerza media de la señal

PÉRDIDAS DE PENETRACIÓN: Se utilizan los siguientes estándares: Urbano denso, 20 dB; Urbano 15 dB; Suburbano 10 dB; Rural (en vehículo) 8 dB; Rural (abierto) 0 dB.

DESVIACIÓN ESTÁNDAR COMPUESTA: Debido a que al graficar las pérdidas por penetración se obtiene también una distribución log-normal se utiliza una desviación estándar compuesta que toma en cuenta las pérdidas por penetración y por sombras:

$$\sigma(\text{compuesta}) = [\sigma(\text{sombras})^2 + \sigma(\text{penetración})^2]^{1/2} \quad 2.7.2$$

MARGEN DE DESVANECIMIENTO: Para calcular el margen de compensación requerido se puede utilizar cualquier software que contenga dicha función. Para eso se necesitan los parámetros estadísticos y de QoS (desviación estándar de desvanecimiento log-normal, pérdida por penetración media y probabilidad de cobertura al borde de la célula).

2.6.6 GANANCIA DE TRANSFERENCIA DE LLAMADA SUAVE

Cuando se lleva a cabo una transferencia de llamada en CDMA se tiene que varias radiobases transmiten al mismo tiempo hacia el móvil, lo que implica una mejora a las técnicas de transferencia de llamada utilizadas en TDMA, actuando de ésta manera como una forma de diversidad espacial

2.6.7 E_b/N_0 (RELACION DE ENERGIA POR BIT A DENSIDAD DE RUIDO ESPECTRAL)

Ésta cantidad representa la razón de la energía por bit del canal de tráfico total contra la densidad de ruido espectral y es el principal indicador de calidad de la señal en sistemas que utilizan CDMA.

Estudios han demostrado que un valor de E_b/N_0 de 7 dB es aceptable para desarrollar una buena calidad de la voz.

2.6.8 C/N (RELACION PORTADORA A RUIDO)

Éste valor representa la razón de la energía de portadora contra la interferencia y es el principal indicador de la calidad de la señal en sistemas que utilizan TDMA.

Estudios han demostrado que un valor de C/N de 17 dB es aceptable para desarrollar una buena calidad de la voz.

2.6.9 CARGA DE LA CELULA Y FACTOR DE CARGA (MARGEN DE INTERFERENCIA)

Esto es la degradación en el canal de reversa debido a la carga del tráfico y se calcula así:

$$\text{Margen de interferencia} = 10 \log \left[1 / (1 - L) \right] \quad 2.7.3$$

donde L = fracción de carga (esto es número de usuarios por sector actual / máximo número de usuarios por sector).

La figura 2.6.3 muestra el factor de carga contra el margen de interferencia.

Se recomienda que para el canal de reversa se utilice un factor de carga de 50%, lo que implica una reducción de la célula de 3 dB. A éste valor se le agrega 0.5 dB como un margen el cual es llamado Margen de Fluctuación de Carga. Éste parámetro es típico para ambientes en CDMA

2.6.10 MAXIMA PERDIDA EN LA TRAYECTORIA

La máxima pérdida en la trayectoria es simplemente la diferencia entre la potencia de transmisión y la potencia requerida en el receptor.

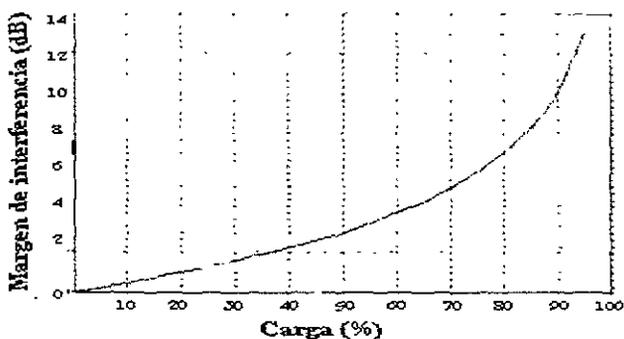


Figura 2.6.3 Margen de interferencia vs porcentaje de carga

2.6.11 RESUMEN DE PASOS PARA LA RUTA DE ENLACE

Se puede resumir que los pasos requeridos para llevar a cabo el análisis de la ruta de enlace son los siguientes:

- Identificación de los parámetros relevantes como las especificaciones de los equipos, especificaciones de implantación y las regulaciones gubernamentales.
- Utilizar un modelo de propagación para predecir la potencia media de la señal.
- Utilizando medidas de campo determinar la variación de la señal con relación de la media.
- Especificar un factor de cobertura confiable.
- Calcular el margen.
- Determinar el factor de carga de la célula.
- Usar el modelo de propagación elegido para determinar la cobertura

**CAPITULO III
DISEÑO DE UNA RED PCS
USANDO TECNOLOGIAS
TDMA Y CDMA**

3.1 PROCEDIMIENTO DE INGENIERIA DE RF

Es importante describir las técnicas de ingeniería necesarias para realizar el diseño de una red de servicios PCS de manera que con un mínimo de radiobases alcanzar la cobertura deseada en las áreas elegidas para así asegurar un correcto desempeño del sistema. A continuación se describen los pasos a seguir para desarrollar un sistema de PCS en lo que a radiofrecuencia corresponde.

3.1.1.- REQUERIMIENTOS Y ESPECIFICACIONES

- Es de suma importancia que antes de comenzar el diseño de una red de servicios PCS se establezcan los criterios de rendimiento bajo los cuales se quiere que el sistema opere. Lo que se requiere definir en éste punto es:
 - 1.- La tasa de tramas en error (FER o BER): La cobertura que se proveerá es el aspecto más importante que se tiene que cuidar en el diseño por lo que es de suma importancia asegurar que la señal llegue a los objetivos trazados con la suficiente potencia.
 - 2.- Calidad en el servicio (QoS): Esta es una especificación de que tan bien se recibirá la señal en un área de servicio dada y se establece en términos de la confiabilidad de la cobertura y se expresa como una probabilidad.
 - 3.- Equipo: se escoge el equipo que se va a utilizar tomando en cuenta: el tipo de radiobase que se va a escoger y la potencia de transmisión del móvil, figura de ruido y sensibilidad, ganancias de las antenas, tipo de líneas de transmisión que interconectarán los equipos y sus respectivas pérdidas por inserción, la frecuencia de operación y las regulaciones y estándares que las autoridades de las respectivas ciudades imponen al respecto.
- Es importante contar con un análisis de la ruta de enlace, lo cual es simplemente una recopilación de las ganancias y pérdidas en el sistema. Este análisis nos permite predecir el rendimiento que tendrá el sistema así como evaluar el impacto que tendrán las decisiones de diseño sobre dicho rendimiento basándonos en potencias de transmisión, sensibilidad en la recepción y pérdidas en el sistema.
- Es necesario hacer una estimación del número de usuarios que tendrán las diferentes áreas así como el número de canales requeridos en cada célula en particular. Para llevar a cabo lo anterior es necesario obtener o estimar la siguiente información: Grado de servicio (GoS), número de suscriptores totales esperados así como su localización y distribución, intensidad de tráfico estimado y patrones de llamadas.

3.1.2.- INGENIERIA DE RF

BARRIDO DE FRECUENCIA

- Se visita la ciudad seleccionada y se lleva a cabo un barrido en el espectro de frecuencias que se va a utilizar con el objetivo de localizar fuentes externas de interferencia electromagnética. Se deberán ubicar las fuentes de radio que se encuentren cercanas al sitio y determinar la interferencia provocada por ellos.

DRIVE TEST PRELIMINAR

- Un *drive test* es simplemente un proceso de validación en campo en donde se mide la propagación de la señal en el mundo real.
- Un *drive test* se clasifica en alguna de dos categorías:
 - 1.- evaluación de nuevos sitios o
 - 2.- análisis de un sistema ya existente.

Para ésta etapa se utiliza la primera categoría en donde se caracteriza el ambiente de RF.

- Este paso se comienza realizando una primera predicción de la cobertura en la ciudad seleccionada con un software y como primera aproximación se utiliza como base un modelo de propagación arbitrario, generalmente basado en una ciudad de la que ya se cuente con algún modelo y que tenga características similares a la ciudad que se está diseñando.
- A continuación se lleva a cabo un *drive test* preliminar con el fin de corregir los modelos de propagación utilizados en el punto anterior

PREDICCIÓN DE LA COBERTURA

- Un modelo de predicción introduce el mundo exterior al diseño del sistema permitiendo determinar las pérdidas por propagación basándose en el tipo de terreno, altura de las antenas y el ambiente de RF. Se debe tomar en cuenta: la frecuencia portadora, el tipo de terreno más frecuentemente encontrado, características de los clusters (urbano, suburbano, rural, árboles, altura de edificios circundantes), rango de alturas de antenas de RF que se pueda utilizar dependiendo de las restricciones de la zona, etc.

- Con los datos recolectados en el punto anterior y con los resultados obtenidos del *drive test* se corrigen los modelos de propagación utilizados originalmente y se realiza una nueva predicción de la cobertura. Para realizar esta predicción se prueban varios puntos geográficos y diferentes tipos de antenas con diversas inclinaciones y azimuths y se analizan las diferentes coberturas arrojadas.
- En base a lo que se considere el mejor diseño se eligen los tipos de antenas a utilizar por cada sector así como la altura y acimut correspondientes de tal manera que se cumpla con los objetivos de cobertura requeridos.

3.1.3.- INGENIERIA DEL SITIO

DEFINICION DE ANILLOS DE BUSQUEDA

- Para iniciar la ingeniería de los candidatos se debe tomar en cuenta la siguiente información:

a) *Definición del área de cobertura.* Mercadotecnia proporcionará un documento donde se especifiquen las áreas de interés desde el punto de vista comercial, así como también se definirá el tipo de cobertura que se desea en cada zona (fijo o móvil) y de ser posible realizar una estimación del tráfico esperado. En este estudio se ubican las áreas de interés en un mapa que incluya la topología del lugar y otro en donde se señale la morfología de la ciudad de manera que se puedan ubicar las radiobases y se definan las características que tendrán éstas en base a las herramientas con que se disponga y mediante las cuáles se alcancen los objetivos.

b) *Localización precisa del sitio.* Al momento de realizar la predicción se colocan radiobases en lugares “ideales”, llamados Sitios Objetivo, de los cuáles lo único que se sabe son sus coordenadas geográficas por lo que es necesario localizar en la realidad dicho lugar y obtener su dirección precisa dentro de la ciudad o zona y su localización geográfica (latitud, longitud y altura). Así mismo se ubicarán los diferentes obstáculos que puedan afectar la propagación de la señal y en caso de ser necesario se reubicará el Sitio Objetivo a otro punto en el cual se puedan evadir dichos obstáculos y en el software se realiza una predicción con la nueva localización y se reubican o rediseñan los demás sitios en caso de requerirse. Además, en algunas ocasiones la zona presentará diversos obstáculos, debido principalmente a las estructuras humanas, por lo que será necesario realizar un *drive test* para analizar que tanto afectará a la señal las condiciones de dicha zona en particular.

c) Descripción del sitio. Es necesario recabar una descripción completa del sitio entre lo que se incluye el tipo de vegetación y de suelo (Follaje denso, follaje medio, poco follaje, área abierta, agua), la morfología de la zona (alta densidad, urbano, poco urbano, suburbano, suburbano bajo o rural), el tipo de terreno (Montañoso, con cerros, con colinas o plano), las condiciones de acceso al lugar, requerimientos especiales, etc.

d) Descripción de la cobertura del sitio. En ésta se debe incluir todo tipo de obstáculo que pueda denigrar la calidad de la señal. Se debe incluir puntos críticos así como construcciones y construcciones futuras.

- Una vez identificado el Sitio Objetivo se define un área de búsqueda alrededor de él. Dentro de dicha área es posible colocar la radiobase sin que el plan de cobertura del sistema sufra una degradación significativa.

BUSQUEDA Y ADQUISICION DE SITIOS

- Una vez definidos los anillos de búsqueda de la ciudad o área seleccionada se procede a buscar diversos candidatos dentro de dicho anillo y se escoge el más conveniente tomando en cuenta que cumpla tanto los requisitos de radiofrecuencia como de enlaces de microondas y construcción civil.
- Ésta es una etapa importante puesto que aquí podrían incidir algunos otros elementos no contemplados en el diseño original como es el uso de suelo o la incapacidad de contratar algún edificio o terreno dentro de la zona señalada. En este momento, se puede contemplar mover el anillo de búsqueda original a otro o extender el ya existente, previo a un análisis que muestre el efecto que existirá al realizar esto y sólo después de este análisis se podrá aceptar a un nuevo candidato.

IMPLANTACION DE LA RADIOBASE

- Una vez contratado algún sitio se informará a Construcción Civil para que proceda en su construcción e implantación.
- Solicitar al proveedor la instalación del equipo y las características que deberá tener este sitio.

3.1.4.- INGENIERIA DE OPTIMIZACION

Básicamente la optimización de RF se lleva a cabo con tres fines específicos:

- 1.- Mejorar el rendimiento de llamadas, esto es, reducir la tasa de llamadas caídas al tiempo de incrementar la tasa de accesos completados.
- 2.- Controlar las transferencias de llamadas asegurando que estas se realizan en cantidades suficientes.
- 3.- Manejar eficientemente la capacidad del sistema con recursos suficientes a la menor tasa de bloqueo posible.

3.2 REQUERIMIENTOS DE TRAFICO

3.2.1 REQUERIMIENTOS DE CAPACIDAD

Los cálculos de capacidad se basan en la hora de mayor demanda. Esta hora puede variar de acuerdo al lugar donde se va a implantar un sistema y necesita modelar el número de usuarios activos simultáneamente.

Para el diseño que se va a desarrollar se tienen las siguientes suposiciones:

- Modelo de tráfico Erlang B
- Intensidad de llamadas en la hora
- de máxima ocupación (n) 1.5 llamadas por hora por usuario
- Grado de servicio 2%
- Duración promedio por llamada (T) 125 seg.

3.2.2 REQUERIMIENTOS DE TRAFICO PARA LA CIUDAD DE LEON

Para el caso de la ciudad de León tenemos el siguiente análisis:

Población en León al 5-Nov-95	1,042,132				
Población ocupada trimestralmente	ENE-FEB	ABR-JUN	JUL-SEP	OCT-DIC	Total
Trabajador a sueldo	74.30%	73.40%	74.10%	77.10%	781599
Patrón	5.60%	5.90%	5.30%	4.90%	61485.788
Trabajador por cuenta propia	15.60%	16.20%	16%	14.60%	162572.59

	Total con teléfono móvil (6.3%*)	Cifra redondeada
Trabajador a sueldo	49240.737	49,241
Patrón	3873.604644	3,874
Trabajador por cuenta propia	10242.0733	10,243
Total		63,358

Población ocupada según ocupación	ENE-FEB	ABR-JUN	JUL-SEP	OCT-DIC	TOTAL
Profesionista Y Técnico	10.80%	10.70%	10.40%	9.90%	104213.2
Funcionarios superiores y personal directivo	2.80%	3%	2.60%	3.10%	29179.696
Personal administrativo	8.50%	8.80%	8.40%	8.20%	89623.352
Comerciantes, vendedores y similares	18.20%	17.90%	18.20%	18%	189668.02
Trabajadores domésticos y choferes	16.70%	17.20%	17.10%	16.50%	177162.44
Trabajadores en labores agropecuarias	0.60%	0.50%	0.30%	0.40%	62527.92
Trabajadores industriales	42.40%	41.90%	43%	43.90%	441863.97

	Total con telefono móvil (6.3)%	Redondeado
Profesionista y Técnico	6565.4316	6,566
Funcionarios superiores y directivos	29179.696	29,180
Personal administrativo	5646.271176	5,647
Comerciantes y vendedores	11949.08551	11,950
Trabajadores domésticos y choferes	11161.23372	11,162
Trabajadores agropecuarios	0	0
Trabajadores industriale	27837.42998	27,838
Total		92,343

En resumen:

Total esperado para utilizar servicios PCS en León:

$$\text{Total usuarios} = (63358 + 92343) / 2 = 77850.5$$

Cifra redondeada: 80,000

*Nota: Para el análisis anterior se considero que el 6.3% de la población utiliza teléfonos celulares (Fuente: COFETEL).

Del análisis anterior se pretende que, en un plazo de cinco años, dar servicio a 80,000 personas en la ciudad de León.

Por razones obvias estos 80,000 usuarios no adquirirán el sistema en forma simultánea por lo que debe de haber un plan para ir implantando la red en etapas. Las estimaciones de la cantidad de suscriptores por bimestre, semestre o por año depende de estudios realizados por expertos en mercadotecnia dentro de cada empresa. Un estudio realizado para un proyecto a 5 años en la ciudad de León revela que para el primer año se pretende alcanzar el 15% de la población objetivo; para el segundo año el 30 %, para el tercero el 50%, para el cuarto el 75% y finalmente en el quinto año alcanzar el 100% de los suscriptores estimados.

Por otra parte, el tráfico A generado por un suscriptor sería:

$$A = \frac{n \cdot T}{3600} = \frac{(1.5)(125)}{3600} = 52.083 \text{ mErlang/suscriptor}$$

y, por lo tanto, el tráfico generado por 80,000 suscriptores es

$$(80000)(52.083) = 4166.64 \text{ Erlangs}$$

3.3 DIMENSIONAMIENTO CON TDMA

3.3.1 ANALISIS DEL ENLACE EN TDMA

El siguiente análisis tiene por objetivo determinar los radios de cobertura para los diferentes ambientes, tomando en cuenta valores típicos de dichos ambientes, así como valores específicos de sistemas que utilizan TDMA dentro de la norma IS-136.

3.3.1.1 DATOS DE ENTRADA

FRECUENCIA DE OPERACION

Para el caso de éste diseño se utilizará la banda A de los 1900 MHz, la cuál tiene 15 MHz de ancho de banda. Para efectos de cálculos se obtiene una buena aproximación si se considera:

$$f_c = 1900 \text{ MHz}$$

ANCHO DE BANDA DE LA PORTADORA DE RF

Cada uno de los canales a utilizar tienen un ancho de banda BW de:

$$BW = 30 \text{ KHz}$$

TASA DE CONVERSION

Se tiene que después del VSELP se obtiene una señal comprimida a una tasa de:

$$R = 8 \text{ kbps}$$

GANANCIA DE PROCESAMIENTO

La ganancia de procesamiento se define simplemente como la razón del ancho de banda a la tasa de conversión, por lo que:

$$BW / R = 5.74 \text{ dB}$$

3.3.1.2 EQUIPO Y MEDIO AMBIENTE

DENSIDAD DE RUIDO

La densidad de ruido o ruido térmico se calcula con la siguiente expresión:

$$N_o = kT \quad 3.3.1$$

Donde k se conoce como la constante de Boltzmann y tiene un valor de 1.38×10^{-23} J/K y T es la temperatura ambiente en Kelvin. Para éste diseño se considera una temperatura ambiente de 300 K (27 °C), por lo tanto:

$$N_0 = -174 \text{ dBm/Hz}$$

RELACION PORTADORA A RUIDO (C / N) MINIMA

Este valor se especifica y se ha encontrado que en promedio 17 dB es un buen valor ya que con él se obtiene una BER de aproximadamente 2%, por lo tanto:

$$C / N = 17 \text{ dB}$$

$$E_b / N_0$$

Se calcula con la siguiente relación:

$$(E_b/N_0) = (C/N) (BW/R) \quad 3.3.2$$

por lo que se obtiene

$$E_b/N_0 = 22.75 \text{ dB}$$

SENSIBILIDAD EN EL MOVIL

La sensibilidad se calcula con la siguiente ecuación:

$$S = E_b/N_0 + NF + 10 \log R - 174 \quad 3.3.3$$

donde NF es la figura de ruido del receptor y R la tasa de conversión . La sensibilidad en el receptor es un valor que depende del móvil a ; que para éste caso se considera una $NF = 0$ (idealmente) resultando:

$$S_{Rx} = -112 \text{ dBm}$$

GANANCIA DE LAS ANTENAS DE LA ESTACION BASE

Éste valor depende del modelo de antena que se utilice y para este diseño se tiene:

$$G_{RBS} = 15 \text{ dBi}$$

PERDIDA EN LA CONEXION DE LOS CABLES EN LA BTS

Las antenas de la BTS se conectan al equipo transmisor por medio de cables que producen una cierta atenuación que depende del equipo y tipo de cable utilizado. Un buen valor a utilizar es:

$$BTS_{CL} = 3 \text{ dB}$$

POTENCIA DE TRANSMISION DE LA RADIOBASE

La potencia de transmisión a la salida del amplificador de potencia del transmisor de la radiobase es un valor del equipo que se utilice; podemos considerar como máximo un valor de:

$$P_t = 50 \text{ dBm}$$

PIRE DE LA RADIOBASE

El PIRE (máximo) en la transmisión se puede calcular con la expresión:

$$PIRE_{BTS} = P_t - BTS_{CL} + G_{BTS} \quad 3.3.4$$

resultando

$$PIRE_{BTS} = 62 \text{ dBm}$$

MAXIMA PERDIDA EN LA TRAYECTORIA (50 %)

Se calcula con la siguiente relación:

$$MPT (50\%) = PIRE_{BTS} (\text{dB}) - S_{Rx} (\text{dB}) \quad 3.3.5$$

Por lo tanto:

$$MPT (50\%) = 174 \text{ dB}$$

Cabe hacer la aclaración que una máxima pérdida en la trayectoria al 50% sólo se da a entender que todavía no se consideran el margen de desvanecimiento ni las pérdidas por penetración.

3.3.1.3 MARGENES

MARGEN TOTAL

Considerando una desviación estándar de desvanecimiento lognormal de 8 dB (valor típico) y con una probabilidad de servicio de 75% al borde de la célula, el margen de desvanecimiento se puede calcular con cualquier software que tenga dicha función, como por ejemplo la función NORMINV de excel, para la cual se necesita la media de pérdidas por penetración, la cual depende del tipo de ambiente en cuestión y se tienen los siguientes valores típicos:

Urbano denso	Urbano	Suburbano
20 dB	15 dB	8 dB

resultando

para urbano denso $NORMINV (.75, 20, 8) = 25.4$ dB

para urbano $NORMINV (.75, 15, 8) = 20.4$ dB

para suburbano $NORMINV (.75, 8, 8) = 13.4$ dB

Los resultados anteriores representan el margen total que se tiene que añadir para tomar en cuenta el desvanecimiento y las pérdidas por penetración.

MAXIMA PERDIDA EN LA TRAYECTORIA

Este valor se calcula de la siguiente forma:

$$MPT = MPT (50\%) - \text{Margen Total} \quad 3.3.6$$

Por lo que se tiene un valor diferente dependiendo del cluster:

Urbano denso	Urbano	Suburbano
148.6 dB	153.6 dB	160.6 dB

3.3.1.4 MODELO DE PROPAGACION Y COBERTURA

ALTURA DE LA ANTENA MOVIL

Para éste caso se puede considerar que la antena móvil se mantiene en promedio a una altura de:

$$h_m = 1.5 \text{ mts}$$

ALTURA DE LAS ANTENAS EN LA ESTACION BASE

En éste caso se pueden considerar las siguientes alturas dependiendo del cluster a utilizar

Urbano denso	Urbano	Suburbano
30 mts	40 mts	50 mts

RADIO DE LA CELULA

El paso final consiste en determinar el radio de cada célula a utilizar. Para iniciar se escoge un modelo de propagación; para el caso de los sistemas TDMA en la banda de frecuencias de 1900 con pérdidas en la trayectoria que sean mayores 136.77 dB (Ver tabla 2.2.1) se puede utilizar el modelo de Hata para la banda de 1900 MHz que consiste de los siguientes términos:

$$L_{Hata} = 46.3 + 33.9 \log (f_{MHz}) - 13.82 \log h_b + (44.9 - 6.55 \log h_b) \log R_{Km} + c \quad 3.3.8$$

Los valores dependen del tipo de cluster a utilizar por lo que tenemos lo siguiente:

- **URBANO DENSO**

En este caso:

$$h_b = 30 \text{ mts y } c = 0$$

por lo tanto

$$L_{Hata} = 46.3 + 111.15 - 20.41 + 35.22 \log R_{Km} \quad 3.3.9$$

y despejando

$$R_{Km} = \text{antilog} [(L_{Hata} - 137.04) / 35.22] \quad 3.3.10$$

Finalmente, con $L_{Hata} = 148.6 \text{ dB}$

$$R_{Km} = 2.13 \text{ Km}$$

- **URBANO**

En este caso:

$$h_b = 40 \text{ mts y } c = 3$$

por lo tanto

$$L_{Hata} = 46.3 + 111.15 - 22.14 + 34.41 \log R_{Km} + 3 \quad 3.3.11$$

y despejando

$$R_{Km} = \text{antilog} [(L_{Hata} - 138.31) / 34.41] \quad 3.3.12$$

Finalmente, con $L_{Hata} = 153.6$ dB

$$R_{Km} = 2.78 \text{ Km}$$

• **SUBURBANO**

En este caso:

$$h_b = 50 \text{ mts y } c = 3$$

por lo tanto

$$L_{Hata} = 46.3 + 111.15 - 23.48 + 33.77 \log R_{Km} + 3 \quad 3.3.13$$

y despejando

$$R_{Km} = \text{antilog} [(L_{Hata} - 136.97) / 33.77] \quad 3.3.14$$

Finalmente, con $L_{Hata} = 160.6$ dB

$$R_{Km} = 5 \text{ Km}$$

Como comentario final es conveniente mencionar que el análisis anterior se basó en la suposición de que tanto el enlace de bajada como el enlace de subida se encuentran balanceados; es decir, se tienen la mismas pérdidas tanto en la trayectoria de bajada como en la trayectoria de subida teniéndose también los mismos radios de cobertura para ambas. Sin embargo, en la práctica los diseños se suelen realizar tomando como punto de partida al enlace de subida, ya que éste es el enlace limitante debido principalmente a que el alcance en la transmisión es menor para el móvil que para la radiobase. Las mismas consideraciones se hacen para el diseño con CDMA que se presenta posteriormente.

3.3.2 DIMENSIONAMIENTO DE LAS RADIOBASES

Utilizando el plan de frecuencias 7/21 para la banda A, que cuenta con 15 MHz de ancho de banda, se tienen 497 canales de frecuencia, como se muestra en la siguiente tabla de asignación de frecuencias

A1	B1	C1	D1	E1	F1	G1	A2	B2	C2	D2	E2	F2	G2	A3	B3	C3	D3	E3	F3	G3
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	125	126
127	128	129	130	131	132	133	134	135	136	137	138	139	140	141	142	143	144	145	146	147
148	149	150	151	152	153	154	155	156	157	158	159	160	161	162	163	164	165	166	167	168
169	170	171	172	173	174	175	176	177	178	179	180	181	182	183	184	185	186	187	188	189
190	191	192	193	194	195	196	197	198	199	200	201	202	203	204	205	206	207	208	209	210
211	212	213	214	215	216	217	218	219	220	221	222	223	224	225	226	227	228	229	230	231
232	233	234	235	236	237	238	239	240	241	242	243	244	245	246	247	248	249	250	251	252
253	254	255	256	257	258	259	260	261	262	263	264	265	266	267	268	269	270	271	272	273
274	275	276	277	278	279	280	281	282	283	284	285	286	287	288	289	290	291	292	293	294
295	296	297	298	299	300	301	302	303	304	305	306	307	308	309	310	311	312	313	314	315
316	317	318	319	320	321	322	323	324	325	326	327	328	329	330	331	332	333	334	335	336
337	338	339	340	341	342	343	344	345	346	347	348	349	350	351	352	353	354	355	356	357
358	359	360	361	362	363	364	365	366	367	368	369	370	371	372	373	374	375	376	377	378
379	380	381	382	383	384	385	386	387	388	389	390	391	392	393	394	395	396	397	398	399
400	401	402	403	404	405	406	407	408	409	410	411	412	413	414	415	416	417	418	419	420
421	422	423	424	425	426	427	428	429	430	431	432	433	434	435	436	437	438	439	440	441
442	443	444	445	446	447	448	449	450	451	452	453	454	455	456	457	458	459	460	461	462
463	464	465	466	467	468	469	470	471	472	473	474	475	476	477	478	479	480	481	482	483
484	485	486	487	488	489	490	491	492	493	494	495	496	497							

De esta manera, debido a que se tienen 3 ranuras de tiempo por frecuencia, se tiene que, en general, se tendrían radiobases con una capacidad de canales de voz de:

- Para el caso de sectores con grupos de 24 frecuencias (columnas A1 a G2)
 $(3 \text{ ranuras de tiempo/frecuencia})(24 \text{ frecuencias/sector})(1 \text{ canal de voz/ranura de tiempo})$
 $-1 \text{ canal de control} = 71 \text{ canales de voz / sector}$

lo cual, considerando un grado de servicio del .02 %, equivale a:

$$60.082 \text{ Erlangs / sector}$$

- En el caso de los grupos que cuentan con 23 frecuencias (columnas A3 a G3)
 $(3 \text{ ranuras de tiempo/frecuencia})(23 \text{ frecuencias/sector})(1 \text{ canal de voz/ranura de tiempo})$
 $-1 \text{ canal de control} = 68 \text{ canales de voz / sector}$

lo cual, considerando un grado de servicio del .02 %, equivale a:

$$57.226 \text{ Erlangs / sector}$$

Considerando radiobases de 3 sectores, y que a cada una de estas se les asignen grupos de frecuencias con la misma letra (que a una misma radiobase se les asignen los grupos A1, A2 y A3 por ejemplo), se tendría la siguiente capacidad por radiobase:

$$2 * 60.082 \text{ Erlangs / sector} + 57.226 \text{ Erlangs / sector} = 177.39 \text{ Erlangs / Radiobase}$$

y para satisfacer nuestros requerimientos de tráfico a 5 años se necesitarían:

$$4166.64 \text{ Erlangs (1 Radiobase / 177.39 Erlangs)} = 24 \text{ Radiobases}$$

Por lo cual se tiene el siguiente plan de crecimiento en los 5 años que se contemplan.

PRIMER AÑO

El 15% de 80,000 usuarios son 12,000 usuarios, siendo el tráfico generado por ellos de:

$$(12000)(52.083) = 624.996 \text{ Erlangs}$$

por lo que el número de radiobases necesarias en éste primer año es:

$$(1 \text{ Radiobase} / 177.39 \text{ Erlangs}) * 624.996 \text{ Erlangs} = 4 \text{ Radiobases}$$

con la siguiente asignación de frecuencias:

Rb 1: Grupo de Frecuencias A (Grupos A1, A2 y A3 para los sectores 1, 2 y 3 Respectivamente)

Rb 2: Grupo de Frecuencias C

Rb 3: Grupo de Frecuencias D

Rb 4: Grupo de Frecuencias F

La cobertura proyectada se muestra en la figura 3.3.2

SEGUNDO AÑO

Para el segundo año se esperarían 30% de los suscriptores totales es decir 24,000 usuarios con tráfico generado por ellos de:

$$(24000)(52.083 \text{ mErlang/suscriptor}) = 1249.992 \text{ Erlangs}$$

con lo cual se necesitan:

$$(1 \text{ Radiobase}/177.39 \text{ Erlangs}) * 1249.992 \text{ Erlangs} = 7 \text{ Radiobases}$$

y se tiene un incremento de 3 radiobases con respecto al año anterior con la siguiente asignación de frecuencias:

- Rb 1: Grupo de Frecuencias A (Grupos A1, A2 y A3 para los sectores 1, 2 y 3 Respectivamente)
- Rb 2: Grupo de Frecuencias C
- Rb 3: Grupo de Frecuencias D
- Rb 4: Grupo de Frecuencias F
- Rb 5: Grupo de Frecuencias E
- Rb 6: Grupo de Frecuencias F
- Rb 7: Grupo de Frecuencias E

La cobertura proyectada se muestra en la figura 3.3.3

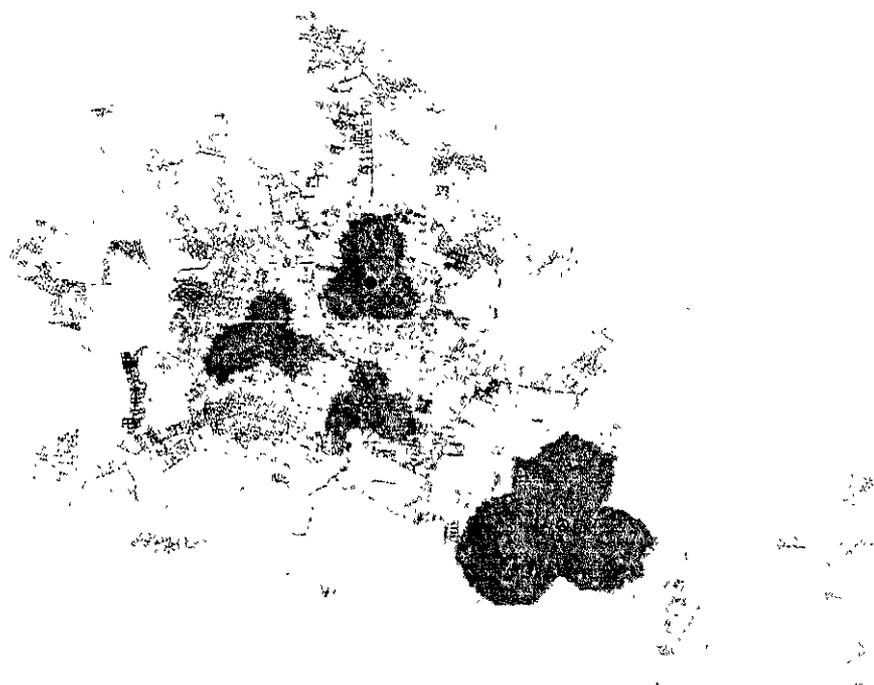
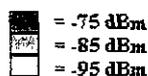


Figura 3.3.2 Cobertura año 1

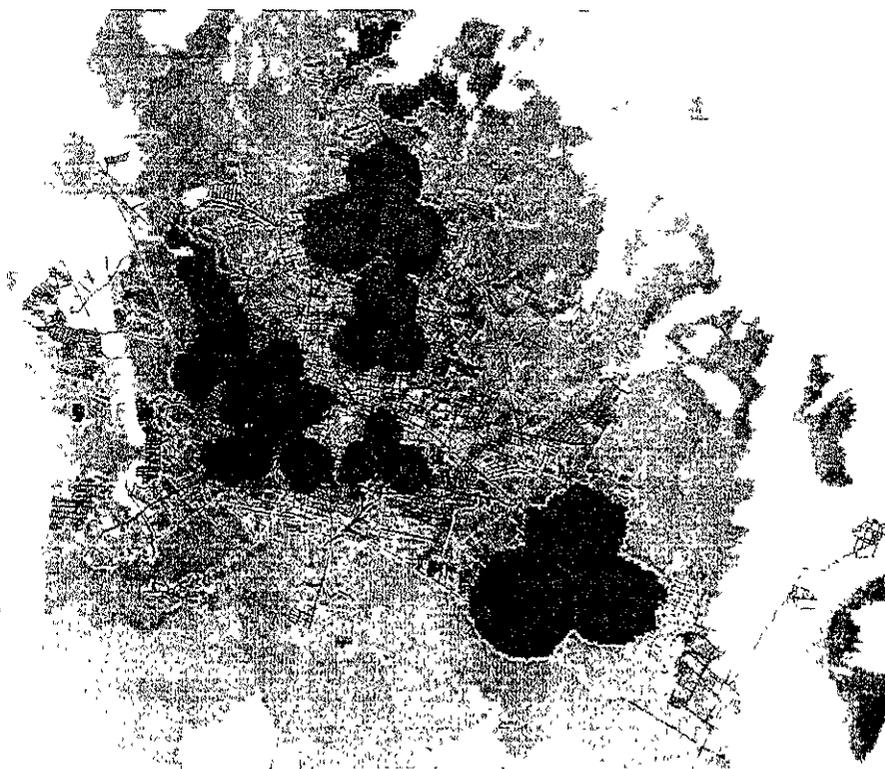
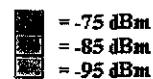


Figura 3.3.3 Cobertura año 2

TERCER AÑO

Para el tercer año se esperarían 50 % de los suscriptores totales es decir 40,000 usuarios con tráfico generado por ellos de:

$$(40,000)(52.083 \text{ mErlang/suscriptor}) = 2083.82 \text{ Erlangs}$$

por lo que se necesitan:

$$2083.82 \text{ Erlangs} * (1 \text{ Radiobase}/177.39 \text{ Erlangs}) = 12 \text{ Radiobases,}$$

con la siguiente asignación de frecuencias:

Rb 1: Grupo de Frecuencias A

- Rb 2: Grupo de Frecuencias G
- Rb 3: Grupo de Frecuencias D
- Rb 4: Grupo de Frecuencias F
- Rb 5: Grupo de Frecuencias E
- Rb 6: Grupo de Frecuencias F
- Rb 7: Grupo de Frecuencias E
- Rb 8: Grupo de Frecuencias D
- Rb 9: Grupo de Frecuencias C
- Rb 10: Grupo de Frecuencias B
- Rb 11: Grupo de Frecuencias C
- Rb 12: Grupo de Frecuencias A

La cobertura proyectada se muestra en la figura 3.3.4

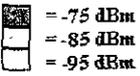


Figura 3.3.4 Cobertura año 3

CUARTO AÑO

Para el cuarto año se esperarían 75 % de los suscriptores totales es decir 60,000 usuarios con tráfico generado por ellos de:

$$(60,000)(52.083 \text{ mErlang/suscriptor}) = 3124.98 \text{ Erlangs}$$

$$3124.98 \text{ Erlangs} * (1 \text{ Radiobase}/177.39 \text{ Erlangs}) = 18 \text{ Radiobases}$$

con la siguiente asignación de frecuencias:

- Rb 1: Grupo de Frecuencias A
- Rb 2: Grupo de Frecuencias C
- Rb 3: Grupo de Frecuencias F
- Rb 4: Grupo de Frecuencias F
- Rb 5: Grupo de Frecuencias E
- Rb 6: Grupo de Frecuencias F
- Rb 7: Grupo de Frecuencias E
- Rb 8: Grupo de Frecuencias D
- Rb 9: Grupo de Frecuencias C
- Rb 10: Grupo de Frecuencias B
- Rb 11: Grupo de Frecuencias E
- Rb 12: Grupo de Frecuencias C
- Rb 13: Grupo de Frecuencias G
- Rb 14: Grupo de Frecuencias A
- Rb 15: Grupo de Frecuencias D
- Rb 16: Grupo de Frecuencias A
- Rb 17: Grupo de Frecuencias D
- Rb 18: Grupo de Frecuencias A

La cobertura proyectada se muestra en la figura 3.3.5

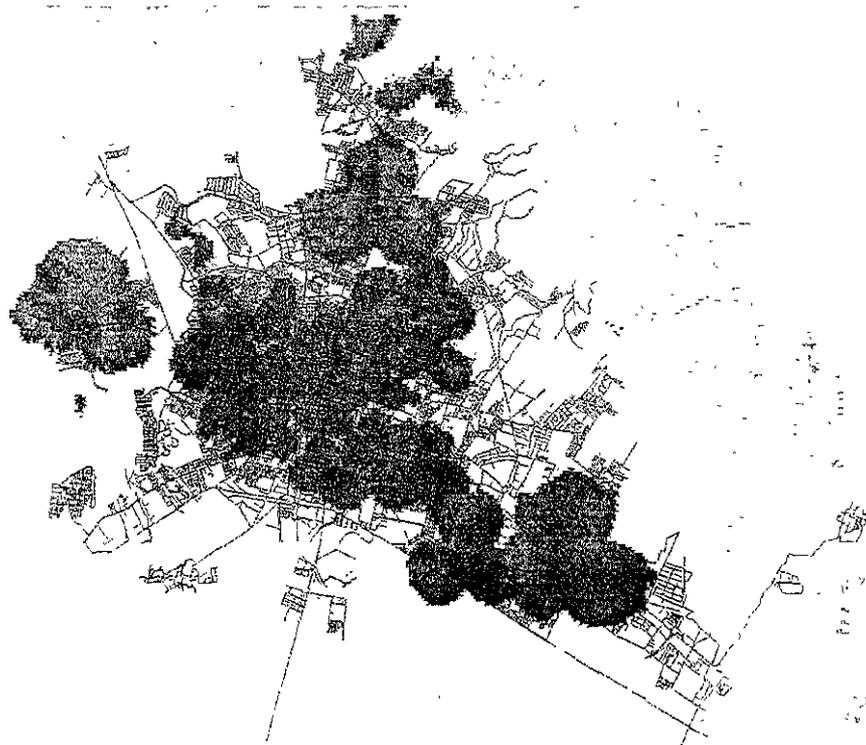
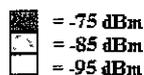


Figura 3.3.5 Cobertura año 4

QUINTO AÑO

Para este caso, los cálculos se realizaron al inicio, solo falta presentar la cobertura proyectada lo cual se muestra en la figura 3.3.6

En el diseño anterior, conforme se incrementaba la cantidad de radiobases era necesario en algunos casos el modificar algunas de sus características, como son la altura de las antenas y su inclinación principalmente; se presenta una tabla resumen que contiene algunas características de las antenas en los diferentes años.

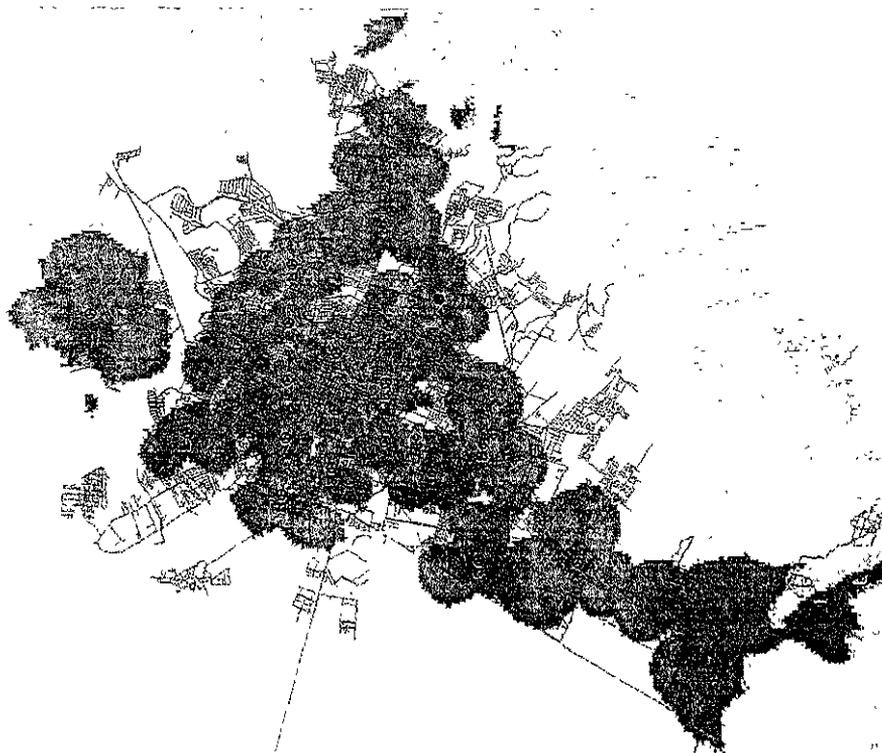
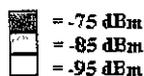


Figura 3.3.6 Cobertura final

Tabla 3.3.1 Datos de RF

Estadobase	Sector	5to. Año		4to Año		3er Año		2do. Año		1er Año	
		Altura	Inclinación	Altura	Inclinación	Altura	Inclinación	Altura	Inclinación	Altura	Inclinación
1	1	30	3	30	2	35	2	35	0	35	0
	2	30	5	30	5	35	5	35	0	35	0
	3	30	3	30	3	35	5	35	0	35	0
2	1	30	0	30	0	35	0	35	0	35	0
	2	30	3	30	3	35	2	35	0	35	0
	3	30	0	30	3	35	0	35	0	35	0
3	1	30	3	30	4	35	0	30	0	30	0
	2	30	4	30	4	35	6	30	0	30	0
	3	30	3	30	4	35	0	30	0	30	0
4	1	40	0	45	0	45	0	45	0	45	0
	2	40	3	45	0	45	0	45	0	45	0
	3	40	3	45	6	45	0	45	0	45	0
5	1	40	0	40	0	40	0	40	0		
	2	40	5	40	3	40	3	40	3		
	3	40	2	40	0	40	0	40	0		

APITULO III: Diseño de una red PCS usando tecnologías TDMA y CDMA

6	1	35	3	35	2	35	0	35	0
	2	35	6	35	6	35	6	35	6
	3	35	0	35	0	35	0	35	0
7	1	30	3	30	3	35	3	40	0
	2	30	6	30	6	35	3	40	0
	3	30	3	30	0	35	2	40	0
8	1	30	3	30	3	30	3		
	2	30	5	30	5	30	3		
	3	30	2	30	3	30	3		
9	1	30	3	30	2	30	0		
	2	30	4	30	4	30	4		
	3	30	5	30	5	30	0		
10	1	30	3	30	3	30	3		
	2	30	3	30	3	30	3		
	3	30	5	30	5	30	3		
11	1	30	4	30	4	35	0		
	2	30	5	30	0	35	0		
	3	30	3	30	3	35	2		
12	1	35	3	35	2	35	2		
	2	35	5	35	4	35	0		
	3	35	5	35	4	35	3		
13	1	30	0	30	0				
	2	30	4	30	4				
	3	30	4	30	4				
14	1	30	0	30	0				
	2	30	3	30	0				
	3	30	5	30	5				
15	1	30	3	30	3				
	2	30	0	30	0				
	3	30	3	30	3				
16	1	30	3	30	3				
	2	30	3	30	0				
	3	30	3	30	3				
17	1	30	3	30	0				
	2	30	5	30	3				
	3	30	3	30	0				
18	1	40	0	35	0				
	2	40	0	35	0				
	3	40	0	35	0				
19	1	35	0						
	2	35	3						
	3	35	3						
20	1	30	3						
	2	30	0						
	3	30	0						
21	1	35	5						
	2	35	3						
	3	35	3						
22	1	35	3						
	2	35	0						
	3	35	5						
23	1	40	0						
	2	40	2						
	3	30	0						
24	1	50	0						
	2	50	3						
	3	50	5						

Con respecto a la orientación de las radiobases, se tiene que éstas se orientaron siempre a 5° , 125° y 245° para los sectores 1, 2 y 3 respectivamente, a excepción de la radiobase 24 que tiene una orientación de 65° , 150° y 320° , lo anterior porque ésta radiobase pretende cubrir una zona carretera.

3.4 DIMENSIONAMIENTO CON CDMA

3.4.1 ANALISIS DEL ENLACE EN CDMA

3.4.1.1 DATOS DE ENTRADA

FRECUENCIA DE OPERACION

Para el caso de éste diseño se utilizará la banda A de los 1900 MHz, la cuál tiene 15 MHz de ancho de banda. Para efectos de cálculos se obtiene una buena aproximación si se considera:

$$f_c = 1900 \text{ MHz}$$

ANCHO DE BANDA DE LA PORTADORA DE RF

Cada uno de los canales mencionados contenidos en la banda A tienen un ancho de banda BW para CDMA de:

$$BW = 1.25 \text{ MHz}$$

TASA DE CONVERSION

Un sistema transforma la señal analógica de voz a una señal digital por medio de la utilización de un vocoder. Actualmente se utilizan dos tipos de vocoder: el vocoder de 8kbps que proporciona una tasa máxima de conversión de 9.6 kbps y el vocoder de 13 kbps que proporciona una tasa máxima de conversión de 14.4 kbps. Para nuestro diseño consideraremos un vocoder de 8 kbps, por lo que:

$$R = 9.6 \text{ kbps}$$

GANANCIA DE PROCESAMIENTO

La ganancia de procesamiento se define simplemente como la razón del ancho de banda a la tasa de conversión, por lo que:

$$BW / R = 130.21 \text{ dB}$$

3.4.1.2 EQUIPO Y MEDIO AMBIENTE

DENSIDAD DE RUIDO

La densidad de ruido o ruido térmico se calcula con la siguiente expresión:

$$N_o = kT \quad 3.4.1$$

Donde k se conoce como la constante de Boltzmann y tiene un valor de 1.38×10^{-23} J/K y T es la temperatura ambiente en Kelvin. Para éste diseño se considera una temperatura ambiente de 300 K (27 °C), por lo tanto:

$$N_0 = -174 \text{ dBm/Hz}$$

E_b / N_0

Este valor se especifica y para un enlace de reversa se ha encontrado que en promedio 7 dB es un buen valor ya que con él se ha encontrado una FER de aproximadamente 2%, por lo tanto:

$$E_b / N_0 = 7 \text{ dB}$$

RELACION PORTADORA A RUIDO (C / N) MINIMA

Se calcula con la siguiente relación:

$$C/N = (E_b/N_0) / (R/BW) \quad 3.4.2$$

por lo que se obtiene

$$C/N = -14.15 \text{ dB}$$

SENSIBILIDAD EN EL MOVIL

La sensibilidad en el móvil se calcula con la siguiente ecuación:

$$S = (E_b / N_0) + NF + 10 \log R - 174 \quad 3.4.3$$

Nuevamente, considerando $NF = 0$ resulta

$$S_{Rx} = -127 \text{ dBm}$$

GANANCIA DE LAS ANTENAS DE LA ESTACION BASE

Éste valor depende del modelo de antena que se utilice y un valor usado con frecuencia es:

$$G_{BTS} = 15 \text{ dBi}$$

PERDIDA EN LA CONEXION DE LOS CABLES EN LA BTS

Las antenas de la BTS se conectan al equipo transmisor por medio de cables que producen una cierta atenuación que depende del equipo y tipo de cable utilizado. Un buen valor a utilizar es:

$$BTS_{Cl.} = 3 \text{ dB}$$

POTENCIA DE TRANSMISION

La potencia de transmisión a la salida del amplificador de potencia del transmisor es un valor del equipo que se vaya a utilizar; podemos considerar como máximo:

$$P_t = 50 \text{ dBm}$$

PIRE DE LA RADIOBASE

El PIRE (máximo) en la transmisión se puede calcular con la expresión:

$$PIRE_{BTS} = P_t - BTS_{CL} - G_{BTS} \quad 3.4.4$$

resultando

$$PIRE_{BTS} = 62 \text{ dBm}$$

MAXIMA PERDIDA EN LA TRAYECTORIA (50 %, Sin carga)

Se calcula con la siguiente relación:

$$MPT = PIRE_{BTS} \text{ (dB)} - S_{Rx} \text{ (dB)} \quad 3.4.5$$

Por lo tanto:

$$MPT = 189 \text{ dB}$$

Al hacer referencia a la máxima pérdida en la trayectoria al 50% sin carga se quiere dar a entender que todavía no se consideran los efectos del margen de desvanecimiento y las pérdidas por penetración así como tampoco el margen que se debe de añadir por los efectos de la carga de tráfico.

3.4.1.3 MARGENES

MARGEN TOTAL

Considerando una desviación estándar de desvanecimiento lognormal de 8 dB (valor típico) y con una probabilidad de servicio de 75% el margen de desvanecimiento se puede calcular con cualquier software que tenga dicha función. Utilizando nuevamente la función NORMINV de excel, con los mismos valores para la media de pérdidas por penetración:

Urbano denso	Urbano	Suburbano
20 dB	15 dB	8 dB

tenemos

para urbano denso **NORMINV (.75, 20, 8) = 25.4 dB**

para urbano **NORMINV (.75, 15, 8) = 20.4 dB**

para suburbano **NORMINV (.75, 8, 8) = 13.4 dB**

Los resultados anteriores representan el margen total que se tiene que añadir para tomar en cuenta el desvanecimiento y las pérdidas por penetración.

MAXIMA PERDIDA EN LA TRAYECTORIA (Sin carga)

Este valor se calcula de la siguiente forma:

$$\text{MPT (Sin carga)} = \text{MPT (50\%, Sin carga)} - \text{Margen Total} \quad 3.4.5$$

Por lo que se tiene un valor diferente dependiendo del cluster:

Urbano denso	Urbano	Suburbano
163.6 dB	168.6 dB	175.6 dB

3.4.1.4 CARGAS

MARGEN DE INTERFERENCIA

En el cálculo de la ruta de enlace para sistemas que utilizan CDMA es recomendable tomar en cuenta también los efectos que produce la carga de tráfico por lo que se debe de agregar un margen de interferencia. Este margen de interferencia depende de la carga por sector en donde se tiene que para una carga del 50% se tiene un valor típico:

$$\text{Margen de interferencia} = 3 \text{ dB}$$

A éste margen también se suele agregar un margen de fluctuación de carga y un valor típico es 0.5 dB, por lo que finalmente:

$$\text{Margen de interferencia} = 3.5 \text{ dB}$$

MAXIMA PERDIDA EN LA TRAYECTORIA

$$\text{MPT} = \text{MPT (Sin carga)} - \text{Margen de Interferencia}$$

Urbano denso	Urbano	Suburbano
160.1 dB	165.1 dB	172.1 dB

3.4.1.5 MODELO DE PROPAGACION Y COBERTURA

ALTURA DE LA ANTENA MOVIL

Para éste caso se puede considerar que la antena móvil se mantiene en promedio a una altura de:

$$h_m = 1.5 \text{ mts}$$

ALTURA DE LAS ANTENAS EN LA ESTACION BASE

En éste caso se pueden considerar las siguientes alturas dependiendo del cluster utilizar

Urbano denso	Urbano	Suburbano
30 mts	40 mts	50 mts

RADIO DE LA CELULA

El paso final consiste en determinar el radio de cada célula a utilizar. Para iniciar se escoge un modelo de propagación, para el caso de los sistemas que utilizan CDMA en la banda de frecuencias en 1900 MHz y cuyas pérdidas en la trayectoria son mayores a 130.45 dBm (Ver tabla 2.2.1) es común utilizar el modelo para obtener radios iguales o mayores a 1 Km. El COST 231 consiste de los siguientes términos:

$$L_{Cost} = L_{fs} + L_{mult} + L_{diff} \quad 3.4.6$$

en particular:

$$L_{fs} = 32.44 + 20 \log f_{MHz} + 20 \log R_{Km} \quad 3.4.7$$

$$L_{fs} = 98.02 + 20 \log R_{Km} \quad 3.4.8$$

$$L_{mult} = L_{bsh} + k_a + k_d \log R_{Km} + k_f \log f_{MHz} - 9 \log b \quad 3.4.9$$

considerando b en promedio como 25 mts tenemos $9 \log b = 12.58 \text{ dB}$; por lo tanto

$$L_{mult} = L_{bsh} + k_a + k_d \log R_{Km} + k_f \log f_{MHz} - 12.58 \quad 3.4.10$$

$$L_{diff} = -16.9 - 10 \log w + 10 \log f_{MHz} + 20 \log (\Delta h_m) + L_{ori} \quad 3.4.11$$

Considerando en promedio $w = 12.5 \text{ mts}$, $f_c = 1900 \text{ Mhz}$, $\Delta h_m = 5 - 1.5 = 3.5 \text{ mts}$. y $\phi = 90^\circ$

$$L_{diff} = 15.81 \text{ dB}$$

Por lo tanto:

$$L_{Cost} = 98.02 + 20 \log R_{Km} + L_{bsh} + k_a + k_d \log R_{Km} + k_f \log f_{MHz} + 12.58 + 15.81 \quad 3.4.12$$

Despejando el radio de la célula de la ecuación anterior:

$$R = \text{anti log} \left[\frac{L_{cost} - L_{bsh} - K_a - K_f \log f_{MHz} - 126.41}{20 + k_d} \right] \quad 3.4.13$$

Los demás valores dependen del tipo de cluster a utilizar por lo que tenemos lo siguiente:

- **URBANO DENSO**

En este caso:

$$L_{cost} = 160.1 \text{ dB}$$

$$L_{bsh} = -18 \log (1 + 25) \text{ con } h_b = 30 \text{ mts y } h_B = 5 \text{ mts por tanto:}$$

$$L_{bsh} = -25.47 \text{ dB}$$

$$k_a = 54$$

$$k_f = -4 + 1.5 [(f/925) - 1] = -2.42 \text{ por lo tanto}$$

$$k_f \log f_{MHz} = -7.93 \text{ dB}$$

$$k_d = 18$$

Finalmente, el radio de la célula en un ambiente urbano sería

$$\mathbf{R (km) = 2.21 km}$$

- **URBANO**

En este caso los valores utilizados permanecen igual excepto para:

$$L_{cost} = 165.1 \text{ dB}$$

$$L_{bsh} = -18 \log (1 + 35) \text{ con } h_b = 40 \text{ mts y } h_B = 5 \text{ mts por tanto:}$$

$$L_{bsh} = -28.01 \text{ dB}$$

ESTA TESIS NO SALE
DE LA BIBLIOTECA

Finalmente, el radio de la célula en un ambiente urbano sería

$$R \text{ (km)} = 3.49 \text{ km}$$

• **SUBURBANO**

Tenemos.

$$L_{cost} = 172.1 \text{ dB}$$

$L_{bsh} = -18 \log(1 + 45)$ con $h_b = 50$ mts y $h_B = 5$ mts por tanto:

$$L_{bsh} = -29.93 \text{ dB}$$

Finalmente, el radio de la célula en un ambiente urbano sería

$$R \text{ (km)} = 6 \text{ km}$$

3.4.2 DIMENSIONAMIENTO DE LAS RADIOBASES

Para calcular el número de células que se necesitan para dar servicio a 80,000 personas en la ciudad de León consideraremos un equipo para radiobases que tiene las siguientes características:

- Número de sectores por célula: 3
- Número de portadoras por sector 3
- Erlangs por sector por portadora: 18.64
- Erlangs por célula (3 sectores/1 portadora) 55.92
- Erlangs por célula (3 sectores/2 portadoras) 120.9
- Erlangs por célula (3 sectores/3 portadoras) 187.64
- Suscriptores por célula (promedio) 2657.7
- Suscriptores por célula 2 portadoras (prom) 1864.5
- Suscriptores por célula 1 portadora (prom.) 1071

Por lo tanto, el número de células que se necesitan, considerando son:

$$\frac{80,000}{2657.7} = 30 \text{ células}$$

Ahora, el número de Erlangs por célula es:

$$\frac{4166.64}{30} = 138.88 \text{ Erlang/célula}$$

y el número de Erlangs por sector:

$$\frac{138.88}{3} = 46.296 \text{ Erlangs/sector}$$

En el análisis anterior se consideró la utilización de radiobases con tres sectores y tres portadoras para los 80,000 suscriptores pretendidos por lo que los resultados arrojados por dicho análisis son la meta final a cinco años.

Sin embargo es recomendable comenzar a implantar el sistema de acuerdo a los usuarios esperados en periodos de una año. También por cuestiones económicas y de manejo de equipo se recomienda iniciar el diseño utilizando solamente una portadora.

El tráfico esperado generado por un usuario sigue siendo:

$$A = \frac{n \cdot T}{3600} = \frac{(1.5)(125)}{3600} = 52.083 \text{ mErlang/suscriptor}$$

para el primer año se esperan 12,000 usuarios y su tráfico generado de = 624.996 Erlangs. Además, recordando que una radiobase con tres sectores y una portadora puede manejar 55.92 Erlang además de que soporta 1071 usuarios en promedio se obtiene el número de células que se necesitan en éste caso son:

$$\frac{12000}{1071} = 12 \text{ células}$$

cada una de ellas soportando:

$$\frac{624.996}{12} = 52.083 \text{ Erlang/célula}$$

en promedio.

Segundo año

Para el segundo año se esperan 24,000 usuarios con un tráfico generado de A= 1250 Erlangs. Se propone para éste año agregar nuevas radiobases al sistema y también aumentar a dos portadoras. Se propone utilizar:

- 8 radiobases con dos portadoras
- 9 radiobases con una portadora

Se observa entonces que al tener 12 radiobases ya existentes se necesitan 5 más para completar las 17 propuestas.

Tercer año

Para el tercer año se esperan 40,000 usuarios generando un tráfico de $A = 2083.32$ Erlangs. Se propone utilizar todas las radiobases existentes con dos portadoras, por lo que se necesitarían 5 radiobases más para dar un total de

- 22 radiobases con dos portadoras

Cuarto año

Para el cuarto año de operación se espera el 75 % de la población proyectada, es decir, 60 usuarios que generarían $A = 3124.98$ Erlangs. Se propone utilizar 15 radiobases con tres portadoras y 11 con dos portadoras resultando en un total de 26 radiobases por lo que se agregarían 4 radiobases más al sistema al sistema.

Resumiendo:

- 15 radiobases con dos portadoras
- 11 radiobases con tres portadoras

Quinto año

Para el quinto año se pretende alcanzar la meta final de 80000 usuarios generando un tráfico de $A = 4166.64$ Erlangs. Éste diseño final sería con:

- 31 radiobases con tres portadoras

Resumen

Resumiendo el sistema se comenzaría a implantar con 12 radiobases de una portadora y en cinco años terminaría con 31 radiobases de tres portadoras. El crecimiento que iría teniendo el sistema por año y la forma en que se le agregarían nuevas radiobases y portadoras depende de varios factores que se analizan en el proceso de optimización de la red.

PLAN DE REHUSO DE SECUENCIAS PN CORTAS

Para desarrollar éste plan se propone utilizar es siguiente valor de incremento de piloto:

$$\text{PILOT_INC} = 4$$

Lo que resulta en un total de $512/4 = 128$ offsets disponibles para distribuir en las radiobases a utilizar. Al escoger el valor anterior se logra incrementar la separación entre pilotos adyacentes reduciendo en forma significativa la probabilidad de interferencia de PN adyacente. Al final de los cinco años se tendrían 30 radiobases, es decir, 90 sectores

Por lo que utilizaríamos 90 de las 128 secuencias disponibles eliminando por tanto la posibilidad de interferencia co-PN

Se propone utilizar las siguientes 128 secuencias PN cortas:

SECUENCIAS							
0	64	128	192	256	320	384	448
4	68	132	196	260	324	388	452
8	72	136	200	264	328	392	456
12	76	140	204	268	332	396	460
16	80	144	208	272	336	400	464
20	84	148	212	276	340	404	468
24	88	152	216	280	344	408	472
28	92	156	220	284	348	412	476
32	96	160	224	288	352	416	480
36	100	164	228	292	356	420	484
40	104	168	232	296	360	424	488
44	108	172	236	300	364	428	492
48	112	176	240	304	368	432	496
52	116	180	244	308	372	436	500
56	120	184	248	312	376	440	504
60	124	188	252	316	380	444	508

Para el año 1 se necesitan 36 secuencias PN cortas para identificar a cada uno de los 36 sectores de las 12 radiobases con los que el sistema arrancaría, proponiéndose un plan como el siguiente:

SECUENCIAS			
Radiobase	Sector alfa	Sector beta	Sector gama
1	0	4	8
2	48	52	56
3	64	68	72
4	96	100	104
5	144	148	152
6	128	132	136
7	160	164	168
8	176	180	184
9	80	84	88
10	32	36	40
11	16	20	24
12	112	116	120

El mapa de cobertura se muestra en la figura 3.4.1

-  = -84 dBm
-  = -88 dBm
-  = -92 dBm



Figura 3.4.1 Cobertura año 1

y los datos de RF son los siguientes:

Sitio	Sector	Altura (m)	Acimut (°)	Inclinación
LEO-01	1	50	0	-2
	2	50	160	0
	3	50	300	-1
LEO-02	1	50	45	-1
	2	50	160	-2
	3	50	300	0

LEO-03	1	40	0	-2
	2	50	90	-2
	3	50	230	-2
LEO-04	1	50	70	-2
	2	50	110	-2
	3	50	260	-2
LEO-05	1	50	0	-2
	2	50	130	-2
	3	50	220	-2
LEO-06	1	40	120	-2
	2	50	245	-2
	3	50	320	-2
LEO-07	1	50	70	-2
	2	50	130	-2
	3	50	230	-2
LEO-08	1	50	30	-1
	2	50	120	-2
	3	50	270	-2
LEO-09	1	40	30	0
	2	50	150	-2
	3	40	280	0
LEO-10	1	50	10	-1
	2	50	90	-2
	3	50	270	-1
LEO-11	1	50	60	-2
	2	50	160	-1
	3	50	300	-2
LEO-12	1	40	60	-2
	2	40	180	-2
	3	40	260	-2

Para el segundo años se agregarían 5 radiobases a las cuáles se les daría las siguientes secuencias:

Radiobase	SECUENCIAS		
	Sector alfa	Sector beta	Sector gama
13	192	196	200
14	208	212	216
15	224	228	232
16	240	244	248
17	256	260	264

Las 8 radiobases que tendrían dos portadoras serían las siguientes: 3, 4, 6, 9, 12, 13, 14, y 15.

La cobertura se muestra en la figura 3.4.2

-  = -84 dBm
-  = -88 dBm
-  = -92 dBm

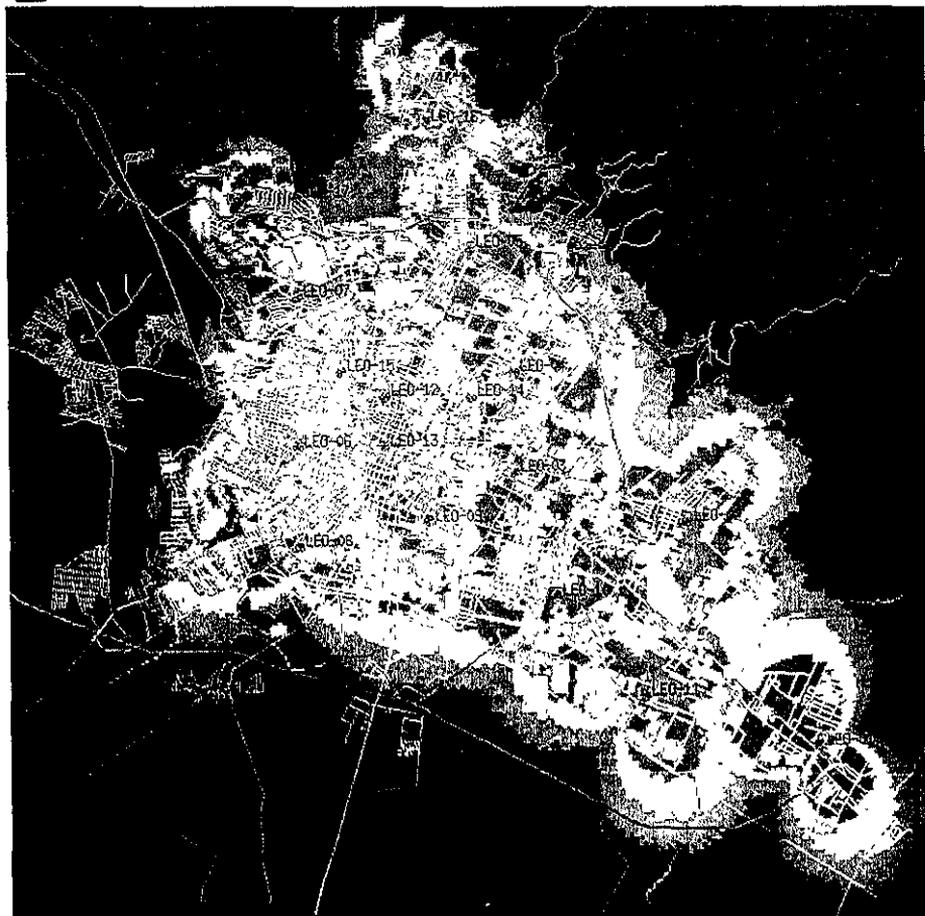


Figura 3.4.2 Cobertura año 2

Los datos de RF de las nuevas radiobases se muestran a continuación:

Sitio	Sector	Altura (m)	Acimut (°)	Inclinación
LEO-13	1	40	90	-2
	2	40	195	-2
	3	40	320	0

LEO-14	1	40	100	0
	2	40	190	-2
	3	40	280	0
LEO-15	1	50	45	-2
	2	40	210	-2
	3	50	270	-2
LEO-16	1	50	0	-2
	2	50	90	-2
	3	50	190	-2
LEO-17	1	50	150	-2
	2	50	210	-3
	3	50	270	-3

Se hicieron además cambios en los acimuts, alturas e inclinaciones de algunos de los sitios ya existentes los cuáles se muestran enseguida en negritas:

Sitio	Sector	Altura (m)	Acimut (°)	Inclinación
LEO-03	1	40	20	-2
	3	50	200	-2
LEO-04	3	50	300	-2
LEO-09	1	50	30	0
	2	50	200	-2
	3	50	300	0
LEO-12	1	40	60	0
	2	40	160	0
	3	40	270	0

Para el tercer año se agregarían nuevamente 5 radiobases con las siguientes secuencias

SECUENCIAS			
Radiobase	Sector alfa	Radiobase	Sector alfa
18	272	18	272
19	288	19	288
20	304	20	304
21	320	21	320
22	336	22	336

Las 22 radiobases ya existentes usarían dos portadoras.

El mapa de cobertura se muestra en la figura 3.4.3:

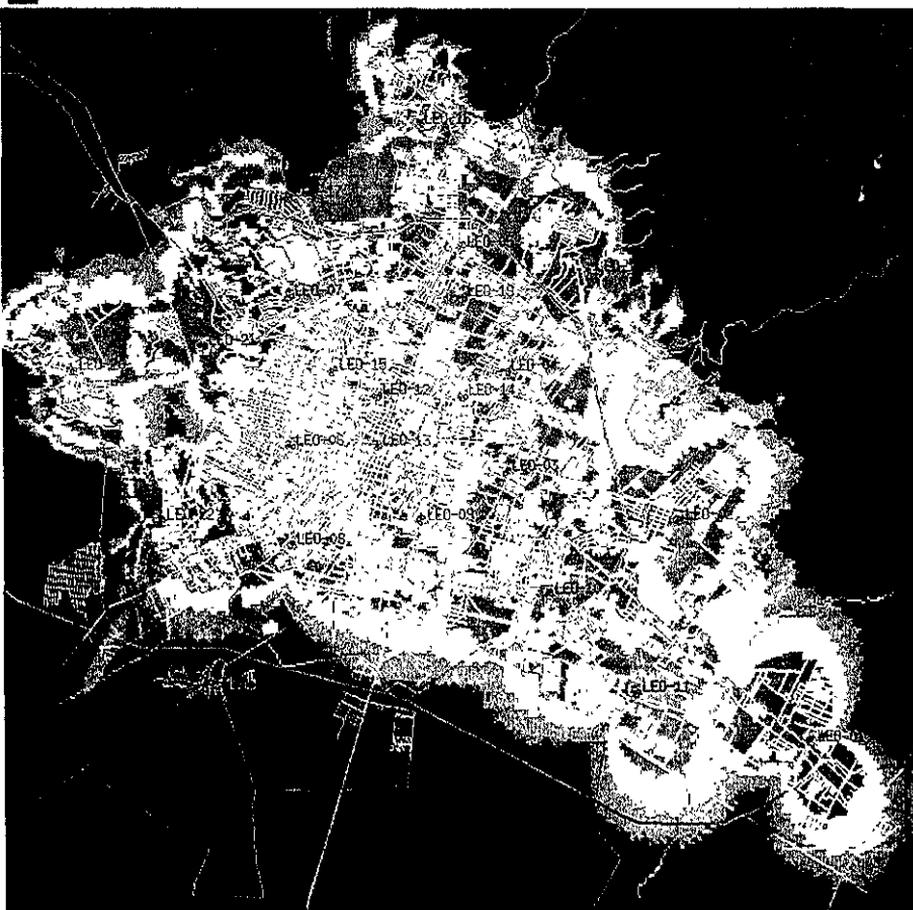
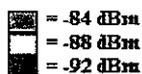


Figura 3.4.3 Cobertura año 3

los datos de las nuevas radiobases son:

Sitio	Sector	Altura (m)	Acimut (°)	Inclinación
LEO-18	1	50	130	-2
	2	50	250	0
	3	50	340	-2
LEO-19	1	40	60	-2
	2	40	120	-2
	3	40	260	-2

LEO-20	1	50	60	0
	2	50	180	-2
	3	50	330	-2
LEO-21	1	50	20	-2
	2	50	140	-2
	3	50	290	-2
LEO-22	1	50	0	-2
	2	50	90	-2
	3	50	200	0

Aquí sólo se hicieron cambios en una radiobase:

Sitio	Sector	Altura (m)	Acimut (°)	Inclinación
LEO-05	2	50	50	-2
	3	50	270	-2

Para el cuarto año se agregarían 4 radiobases las cuáles utilizarían las siguientes secuencias.

SECUENCIAS			
Radiobase	Sector alfa	Radiobase	Sector alfa
23	352	23	352
24	368	24	368
25	384	25	384
26	400	26	400

Las 15 radiobases con tres portadoras serían las siguientes: 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 12, 13, 14, 15, 18, 19, 21, 24 y 25. Las demás radiobases mantendrían sus dos portadoras.

La cobertura se muestra en la figura 3.3.4 con los datos de RF siguientes:

Sitio	Sector	Altura (m)	Acimut (°)	Inclinación
LEO-23	1	40	30	0
	2	40	160	3
	3	40	250	0
LEO-24	1	50	50	-2
	2	50	130	-2
	3	50	230	0
LEO-25	1	50	80	-2
	2	40	170	-2
	3	40	350	-2
LEO-26	1	40	45	-2
	2	40	145	-2
	3	40	330	0

-  = -84 dBm
-  = -88 dBm
-  = -92 dBm

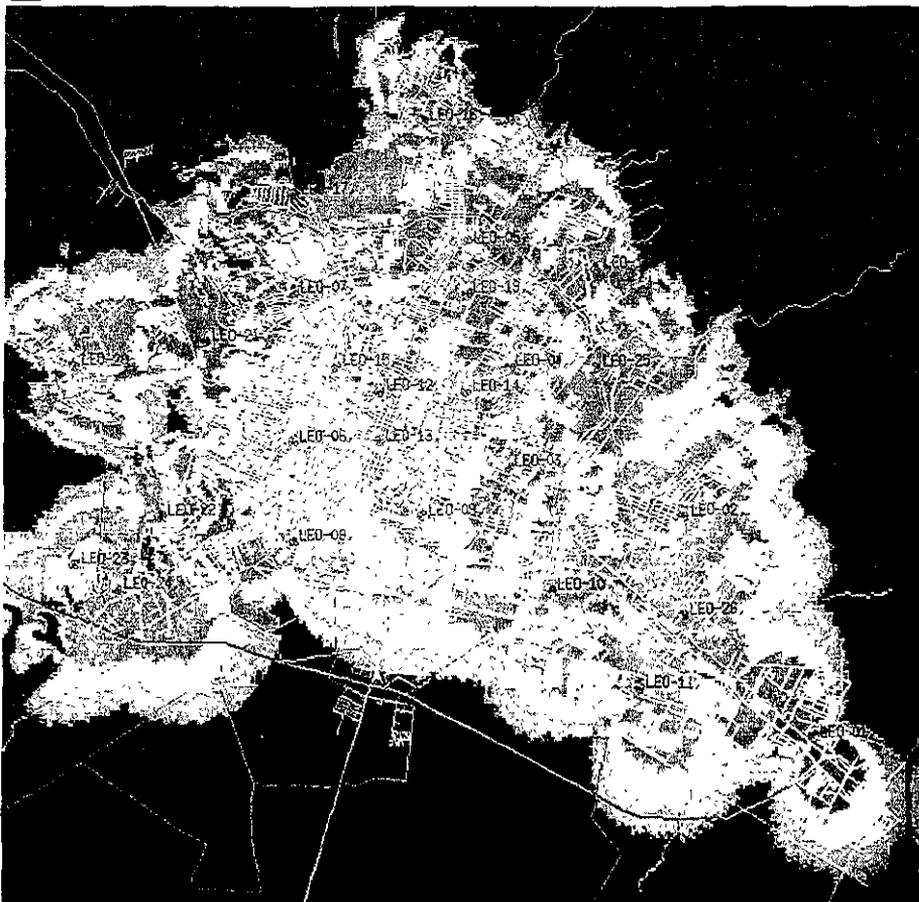


Figura 3.3.4 Cobertura año 4

se le hicieron cambios a las siguientes radiobases:

Sitio	Sector	Altura (m)	Acimut (°)	Inclinación
LEO-02	2	50	130	-2
LEO-04	2	40	110	0
LEO-11	1	50	50	-1

mente en el quinto año se agregarían 5 nuevas radiobases con las siguientes frecuencias asignadas:

SECUENCIAS			
Radiobase	Sector alfa	Radiobase	Sector alfa
27	416	27	416
28	432	28	432
29	448	29	448
30	464	30	464
31	480	31	480

La cobertura final queda como se muestra en la figura 3.4.5:

- = -84 dBm
- = -88 dBm
- = -92 dBm

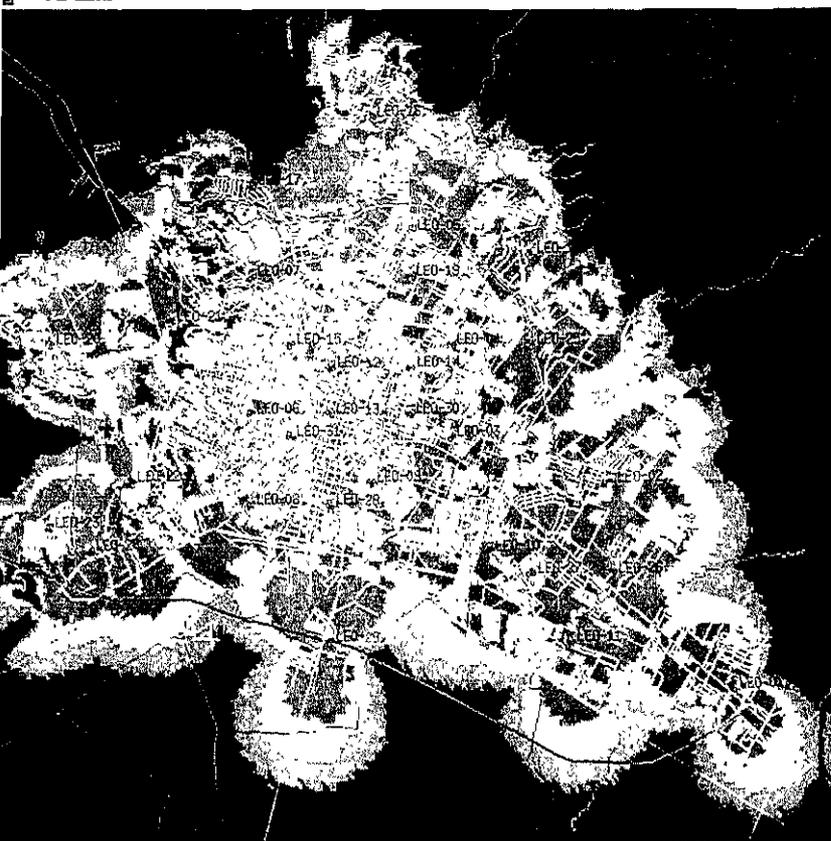


Figura 3.4.5 Cobertura final

los datos de RF son

Sitio	Sector	Altura (m)	Acimut (°)	Inclinación
LEO-27	1	30	20	0
	2	40	100	-2
	3	40	250	-2
LEO-28	1	50	160	-2
	2	50	250	-2
	3	40	340	-2
LEO-29	1	50	30	-2
	2	50	200	-2
	3	50	330	-2
LEO-30	1	40	70	-2
	2	40	160	0
	3	40	250	-2
LEO-31	1	30	120	-2
	2	30	250	-2
	3	30	320	-2

En éste año fue necesario realizar varios cambios a las radiobases ya existentes quedando como sigue:

Sitio	Sector	Altura (m)	Acimut (°)	Inclinación
LEO-01	1	40	0	0
LEO-03	1	50	70	-2
	3	50	110	-2
LEO-06	1	40	50	-2
LEO-08	1	40	50	-2
	2	50	240	-2
	3	50	310	-2
LEO-09	1	40	60	-2
	2	50	160	-2
	3	40	300	0
LEO-10	1	50	340	-1
	2	40	40	-2
	3	40	270	-1
LEO-11	1	40	90	-2
	2	50	180	-1
LEO-12	1	40	60	-2
	2	40	180	-2
	3	40	290	-2
LEO-13	2	40	160	-2
	3	40	290	0
LEO-14	1	40	90	0
	2	40	230	-2
LEO-26	1	40	50	-2
	2	40	150	-2
	3	40	350	0

Finalmente cabe hacer mención que la implantación de más radiobases en los años posteriores al primero se hace con dos objetivos: 1) aumentar capacidad al sistema y 2) expandir la cobertura.

**CAPITULO IV
MEJORAS A UNA
RED PCS USANDO
TECNOLOGIA
SATELITAL LEO**

En este capítulo se analiza un sistema de comunicación basado en satélites de órbita baja como una alternativa que puede complementar a los sistemas inalámbricos terrestres. Se comienza con un panorama general acerca de un sistema satelital LEO mencionando sus principales características, se continúa con el estudio de Globalstar que es un sistema satelital que actualmente se encuentra en funcionamiento y se finaliza con un cálculo de enlace tomando en cuenta los parámetros propios del sistema Globalstar.

Cada tipo de satélite, de acuerdo con sus características, resulta ser ideal para cierto tipo de aplicaciones. Si bien es cierto que los primeros satélites fueron del tipo GEO, hoy en día las constelaciones LEO's y MEO's, han encontrado amplias posibilidades en el mercado de las telecomunicaciones, debido a sus posibilidades que ofrecen en ancho de banda. Gracias a ello podrán competir e integrarse con las redes de fibra óptica. Entre los principales servicios que ofrece un satélite LEO se encuentran Voz, datos, Internet, fax, transmisión de archivos, monitoreo de vehículos, etc.

4.1 ORBITAS SATELITALES

Las órbitas No-Geoestacionarias se dividen en: Orbitas Terrestres Bajas (LEO), Orbitas Terrestres Medias (MEO) o Orbitas Elípticas Altas (HEO).

Las Orbitas Terrestre Bajas son aquellas que se localizan en un rango de altitud de 200 a 3000 km., entre la atmósfera de densidad constante y los cinturones de radiación de Van Allen.

- Voz: Iridium, Globalstar
- Mensajes: Orbcomm
- Datos en banda ancha: Teledesic, skybridge.

Las Orbitas Medias comienzan a los 3,000 Km y se extienden hasta los GEO. Los satélites que se encuentran en esta órbita se encuentran expuestos a altos niveles de radiación.

- Voz: ICO
- Datos en banda ancha: Orblink, Hughes Spaceway NGSO

Las Orbitas Altamente Elípticas se aproximan a la superficie de la tierra a varios cientos de kilómetros, y después alcanzan y sobrepasan la distancia de los satélites GEO.

La selección correcta de las órbitas satelitales óptimas se determinan regularmente por la cobertura terrestre deseada.

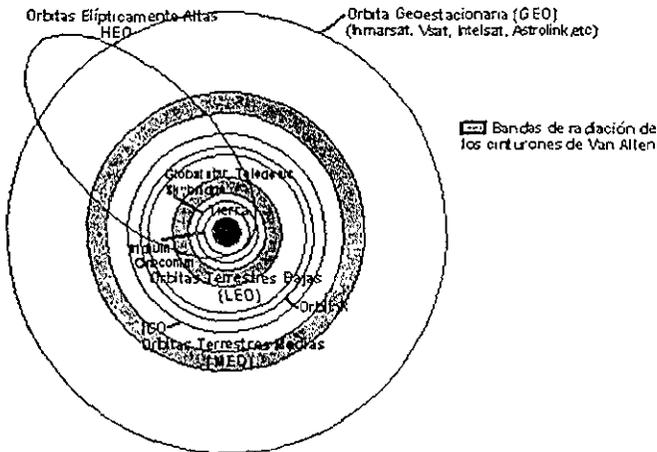


Figura 4.1.1 Órbitas Satelitales

4.2 VENTAJAS DE LAS ORBITAS NO-GEO

La órbita que frecuentemente es más utilizada para las comunicaciones satelitales es la Órbita Terrestre Geoestacionaria (GEO), una órbita circular localizada en el plano ecuatorial a una altitud de 35,786 Km. Los satélites geoestacionarios pueden cubrir grandes áreas y permiten que las antenas en tierra permanezcan fijas. Sin embargo, requieren altas potencias de transmisión, grandes aperturas de las antenas, no pueden cubrir aquellas regiones de gran latitud, producen retrasos en la comunicación, sus costos son elevados y existe un alto riesgo al poner el satélite en órbita.

Recientemente se ha introducido el concepto de Sistema de Comunicación Personal (PCS). Las terminales PCS necesitan antenas de pequeñas dimensiones, potencia de salida baja y un sistema altamente resistente a la temperatura de ruido. Esto es, que las terminales móviles requerirán de un muy bajo PIRE y G/T, hasta 8 dBW y -18dB/K respectivamente. Tales requerimientos presentan un reto en el diseño del sistema. Hay tres posibles soluciones para la solución de éste problema.

La primera solución es mejorar el rendimiento de un satélite GEO con el fin de compensar a las terminales pequeñas. Es decir un incremento del G/T en el receptor y del PIRE en el transmisor del satélite GEO, pero desafortunadamente no sería la solución más efectiva en materia de costos.

Una segunda solución es la del uso de una banda de frecuencias en la cual las pequeñas terminales tuvieran una alta ganancia, por ejemplo la banda Ka (26-40 GHz), para una ganancia de 20-25 dB. Sin embargo, ésta solución presenta varios impedimentos, entre los cuales se incluyen una baja eficiencia en la potencia de los transmisores en la banda Ka, la dependencia de la disponibilidad del enlace con respecto al clima, la ausencia de tecnología, incompatibilidad con los estándares terrestres existentes para los servicios PCS, y especialmente la alta radiación a la que se expondría al cuerpo humano.

Una tercera solución, radicalmente diferente, es una disminución en las pérdidas del enlace y en el retardo de la señal. Esto se traduce en acercar el satélite a las terminales móviles. Esto puede llevarse a cabo colocando satélites en órbitas más bajas a la geoestacionaria. Pero esta solución también tiene sus desventajas.

Se necesitan varios satélites en una constelación a fin de proveer una cobertura equivalente a la proporcionada por un satélite geoestacionario. Los sistemas de telemetría y manejo de la red llegan a ser mucho más complicados. El efecto Doppler se introduce en los enlaces satélite-terminal. Además, se pueden requerir enlaces entre satélites para obtener una cobertura más amplia.

4.3 CARACTERISTICAS ORBITALES

La elección óptima de una órbita se determina regularmente por la cobertura requerida, pudiendo ser circulares o elípticas a diferentes altitudes.

4.3.1 TIPOS DE ORBITAS

La inclinación de una órbita determina un ángulo i con respecto al plano del ecuador.

De acuerdo a su inclinación las órbitas pueden ser divididas en [9]:

1.-Órbitas ecuatoriales $i = 0$

2.-Órbitas inclinadas $i \neq 0$

A su vez las órbitas inclinadas pueden ser divididas en [9]:

Órbitas retrogrado $i < 90^\circ$

Órbitas polares $i = 90^\circ$

Órbitas postrado $i > 90^\circ$

Todas las órbitas pueden dividirse en [9]:

- Órbitas inclinadas circulares geo-sincronas (Clase i).
- Órbitas inclinadas elípticas geo-sincronas (Clase iii).
- Órbitas no-geosincronas circulares y elípticas (Clase ii).
- Órbitas geoestacionarias (Clase iv).

Para especificar la localización de una órbita satelital se hace uso del término "Punto de subsatélite"

El Punto de Subsatélite es el punto donde se intersectan una línea imaginaria que parte del centro de la tierra al satélite y la superficie terrestre [9].

En una órbita geosíncrona (Clase i y iii) un satélite completa un número entero de órbitas por día. Para este tipo de órbitas su Punto de Subsatélite describe una figura constante sobre la tierra.

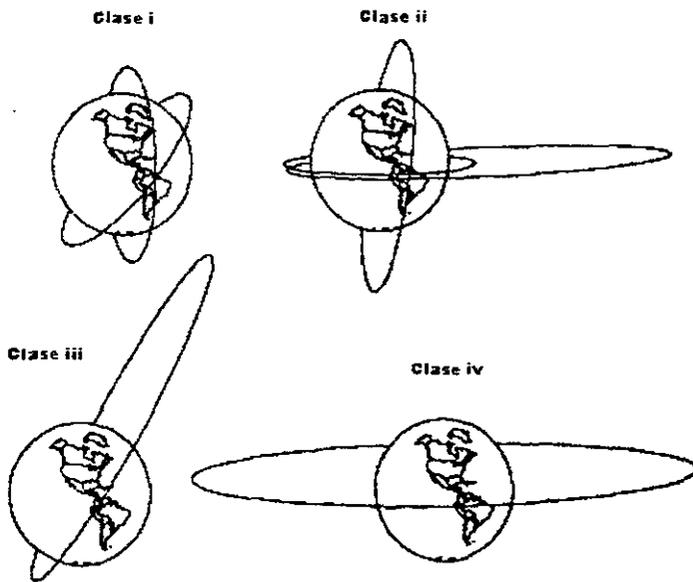


Figura 4.3.1 Tipos de órbita

Las órbitas no-geosincrónicas (clase ii) son usadas la mayoría de las veces para aplicaciones científicas y militares pero muy raramente tienen aplicaciones para comunicaciones.

En las órbitas geoestacionarias (clase iv) el satélite se encuentra virtualmente anclado a la tierra. Su punto de subsatélite permanece en el mismo lugar.

Las órbitas circulares LEO clase i son las más aptas para sistemas de comunicación móvil. Para este tipo de órbitas el tamaño de una célula permanece constante. Además con la combinación de varias órbitas de este tipo se puede proporcionar una cobertura óptima constante.

4.3.2 PARAMETROS BASICOS DE UN SISTEMA LEO

A continuación se definirán algunos parámetros básicos de acuerdo al estudio de las órbitas. Los parámetros se analizarán bajo la limitante de que la excentricidad es igual a cero ($e=0$) y que la órbita es un círculo con la tierra en el centro.

Se tiene que para una órbita circular la velocidad lineal, angular y periodo orbital de un satélite están dados por [9]:

$$V_s = \sqrt{\frac{\mu}{r_t + h}} \quad \omega_t = \sqrt{\frac{\mu}{(r_t + h)^3}} \quad T_s = 2\pi \sqrt{\frac{(r_t + h)^3}{\mu}} \quad 4.3.1$$

donde r_E es el radio de la tierra ($r_{Ee} = 6378.14$ Km para el plano ecuatorial y $r_{Ep} = 6356.75$ Km para cualquier otro plano) y μ es la constante gravitacional ($\mu = 398600.5 \times 10^9$ m/s).

Los ángulos que guarda una antena de una terminal para apuntar hacia un satélite son llamados ángulos de observación[9].

El ángulo acimut α es el ángulo que existe entre el norte y el satélite. El ángulo de elevación es el ángulo que guarda la antena con respecto al piso[9].

De acuerdo a la Fig. 4.3.2 podemos determinar que [9].:

El ángulo de cobertura, que es el ángulo de separación entre el satélite y la terminal, esta dado por

$$\phi = \arccos \left[\frac{r_E}{r_E + h} \cos \gamma \right] - \gamma \quad 4.3.2$$

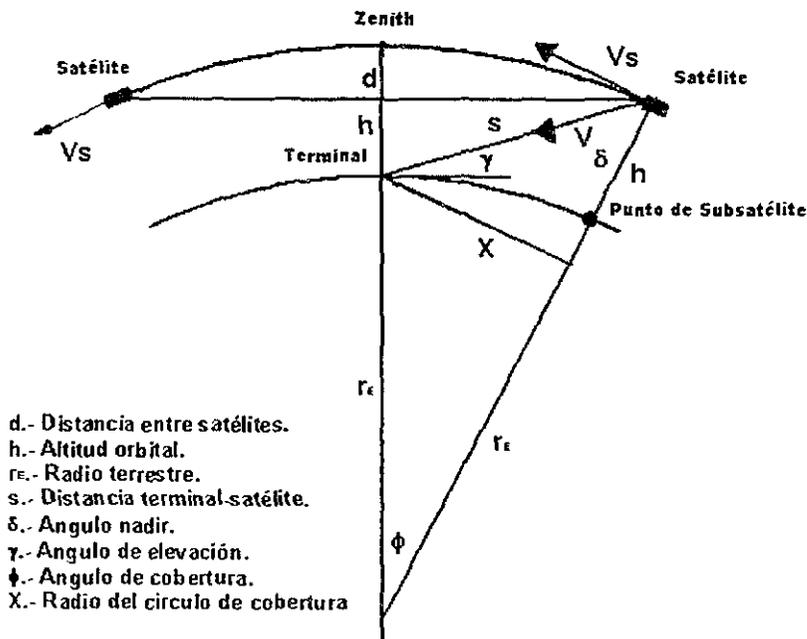


Figura 4.3.2 Órbita circular LEO

El ángulo de elevación es:

$$\gamma = \arccos \frac{(r_E + h) \sin \phi}{s} \quad 4.3.3$$

El ángulo acimut es:

$$\alpha = \arcsen \left[\frac{\text{sen } L \cos l_s}{\text{sen } \phi} \right] \quad 4.3.4$$

donde L es la longitud entre el satélite y la terminal y l_s es la latitud del Punto de Subsatélite (L y l_s en grados).

La distancia de la terminal al satélite esta dada por :

$$s = \sqrt{r_E^2 + (r_E + h)^2 - 2r_E(r_E + h)\cos \phi} \quad 4.3.5$$

Para un sistema de comunicaciones LEO, el número de satélites en una constelación, el retardo en la propagación de la señal y las pérdidas en el espacio deben de estar conjuntados de la mejor manera.

Mientras el área de cobertura se incrementa y el número de satélites disminuye con un aumento en la altura orbital, los parámetros de retardo y pérdidas se elevan.

Para una constelación compuesta de órbitas circulares, el numero de satélites equiespaciados por plano orbital y el numero de planos equiespaciados para cubrir una cierta región (sin que existan traslapes) son, respectivamente:

$$N_s = \frac{\pi}{\phi - \varepsilon} \quad N_p = \frac{\pi - 2 \arccos \left[\frac{\cos \phi}{\cos(\phi - \varepsilon)} \right]}{\phi + \arccos \left[\frac{\cos \phi}{\cos(\phi - \varepsilon)} \right]} + 1 \quad 4.3.6$$

con

$$\varepsilon \cong \frac{\left(-\phi + \sqrt{\phi^2 + 6\phi \tan \phi} \right)^2}{18 \tan \phi} \quad 4.3.7$$

El numero de satélites en la constelación será:

$$N_t = N_p * N_s \quad 4.3.8$$

4.4 SEGMENTO ESPACIAL

Para un satélite LEO su área de cobertura es reducida. El segmento espacial, entonces, debe de consistir de varios satélites de pequeñas dimensiones e idénticos entre ellos. Los satélites son pequeños debido al bajo tráfico que pueden manejar. Ya que los satélites son idénticos es posible llevar a cabo una producción en serie, lo que reduce costos. El satélite puede ser dividido en dos: Plataforma del Satélite y Carga útil.

4.4.1. PLATAFORMA DEL SATELITE

La plataforma del satélite esta conformada de los siguientes subsistemas:

Control orbital y de altitud, telemetría, rastreo, comando, control térmico y potencia eléctrica. Los satélites LEO's de comunicación tienen una plataforma similar al de los satélites GEO's sin embargo existen diferencias.

SUBSISTEMA DE CONTROL ORBITAL Y DE ALTITUD

Un satélite debe corregir su órbita periódicamente. La tarea del control de altitud del satélite es realizar la estabilización del mismo, mientras las antenas apuntan hacia una cobertura deseada y mantienen un ángulo satisfactorio con respecto al sol para los paneles solares. El satélite debe conservarse alineado a tres ejes. el eje en la dirección del movimiento del satélite, el eje de inclinación y el eje de giro. El controlador de altitud generalmente es semi-autónomo.

El subsistema de control de altitud tiene tres partes esenciales: sensor, control electrónico y actuadores. Los sensores comúnmente usados son: sensores solares, sensores terrestres y sensores de razón de giro.

SUBSISTEMA DE POTENCIA ELECTRICA

La función del subsistema de potencia es la de generar y almacenar energía eléctrica para el uso de los demás subsistemas. La energía almacenada por el satélite se escoge en base a una relación de potencia/masa. Un arreglo de paneles solares es, hasta nuestros días, la forma más eficiente de proveer energía eléctrica a cualquier tipo de satélite. Estos paneles deben de ser grandes debido a que reciben iluminación solar sólo por un corto tiempo además de que se deben de compensar las pérdidas por agotamiento y por el daño causado por la radiación durante la vida útil del satélite.

Los paneles solares son la principal fuente de energía de un satélite, pero es necesario el uso de baterías durante los eclipses. Las baterías son las que más peso aportan al satélite. Los satélites LEO's permanecen en la sombra durante un periodo de tiempo más corto que los GEO's, por lo tanto sus baterías pueden ser mas pequeñas. Las baterías tienen una vida útil más corta, debido a que cumplen varios ciclos de carga-descarga

SUBSISTEMA DE TELEMETRIA, RASTREO, COMANDO Y TERMICO

Las funciones realizadas por este segmento son compartidas tanto por el segmento espacial como por el segmento terrestre.

El subsistema de telemetría constantemente recolecta parámetros importantes de todos los subsistemas del satélite y transmite esta información hacia las estaciones terrestres.

El subsistema de rastreo permite a las antenas de los satélites rastrear las estaciones terrestres así como a otros satélites que pertenezcan a la misma constelación, esto únicamente si existen enlaces intersatelitales.

El subsistema de comando recibe comandos desde la tierra, los decodifica y los verifica antes de su ejecución.

El subsistema térmico tiene como función el mantener la temperatura de las unidades y componentes del satélite dentro de los límites de operación. Los satélites LEO's experimentan un gran número de ciclos térmicos lo que hace que su diseño térmico sea más complejo en comparación con los GEO's

4.4.2. CARGA UTIL DEL SATELITE

La carga útil del satélite consiste de los componentes electrónicos del transpondedor, los circuitos para el proceso de la señal y las antenas.

En un satélite LEO una elección favorable para las antenas es un arreglo multi haz (MBA).

En un sistema multihaz la mayor fuente de interferencia son las señales de los haces adyacentes. Los arreglos multihaz son arreglos de fase y pueden ser diseñados para minimizar la interferencia co-canal entre células. Con un arreglo de antenas bien diseñado se puede llegar a obtener que para cualquier par de células no adyacentes puede usarse la misma frecuencia. La desventaja de un arreglo multihaz es su complejidad y su peso en las antenas.

Los amplificadores de alta potencia pueden ser de bajo peso y alta eficiencia, como los amplificadores de potencia de estado sólido (SSPA's). Para enlaces intersatelitales y satélite-estación terrestre, una buena opción en cuanto a eficiencia se refiere, podrían ser los amplificadores de tubo de onda viajante (TWTA's).

Cada haz/célula debería tener su propio amplificador para evitar problemas de saturación.

4.5. SEGMENTO TERRESTRE

El segmento terrestre consiste de las terminales de los usuarios, concentradores de tráfico y todos los dispositivos necesarios para el control y monitoreo de el sistema (TTC&R).

Los concentradores y el TTC&R regularmente se integran en un centro conocido como Estación Terrestre. Los satélites LEO's necesitan tener al menos una estación terrestre en línea de vista, o tener la capacidad de enlace intersatelital (ISL) para pasar el tráfico a la estación más cercana.

4.5.1. ESTACIONES TERRESTRES

Las estaciones terrestres o estaciones base consisten de una o varias antenas asociadas a un equipo de comunicaciones. Todas las estaciones terrestres en un sistema LEO deben tener la capacidad de rastreo, aunque hay algunas que solo pueden realizar funciones de comunicación a este tipo de estaciones se les conoce como estaciones base menores. Las funciones de telemetría, comando, *Doppler* y determinación de posición son realizadas en estaciones terrestres mayores.

A las estaciones terrestres que tiene la capacidad de enlazar sus sistema de comunicaciones con otras redes (PSTN, PLMN, etc) se les denomina compuerta.

En las estaciones terrestres para satélites GEO's las antenas deben estar fijas. Para los satélites LEO's la posición y polarización que guardan las antenas van de acuerdo al rastreo de los satélites.

Un sistema multisatélite requiere una elaborada red de monitoreo y control del sistema. Para constelaciones demasiado complicadas llega a ser necesario un sistema de control y monitoreo totalmente automático; inclusive puede llegar a ser indispensable principios de inteligencia artificial.

4.5.2. TERMINALES

Ya que los satélites se mueven rápidamente en el cielo, las antenas de las terminales necesitan tener un haz ancho. Debido a que las pérdidas en la trayectoria entre un satélite LEO y la tierra son bajas, las antenas de las terminales pueden ser menos directivas además de que se pueden miniaturizar.

Las pérdidas en la trayectoria se incrementan con la frecuencia de la señal. Cuando se eligen antenas omnidireccionales para los usuarios terminales, las bandas de frecuencias bajas (VHF y UHF) son las óptimas para usuarios móviles, sin embargo para estas bandas se tiene una capacidad de transmisión muy baja. Un sistema de comunicación de voz requiere de canales más anchos por lo que las bandas que más se adecuan a esta necesidad son frecuencias en banda L. v superiores.

4.6. CARACTERISTICAS DE UN SISTEMA LEO

4.6.1. CONSTELACIONES DE SATELITES LEO

A consecuencia de que un satélite LEO tiene un área de cobertura limitada, para la creación de una red de comunicaciones con estos satélites debe de ponerse en órbita un número significativo de ellos que necesitan ser organizados dentro de una constelación.

Existen dos tipos básicos de constelaciones, conocidas como *constelaciones de fase* o *constelaciones aleatorias*.

Las constelaciones de fase tienen satélites en posiciones relativamente constantes uno del otro por lo que cada constelación necesita tener un buen control de los satélites.

Una constelación aleatoria evita la necesidad de un sistema de control de órbita complejo y puede, por lo tanto, usar satélites más sencillos.

Dependiendo del número de satélites visibles a una terminal en un cierto tiempo, el sistema satelital No-GEO se puede describir como sistema de *cobertura simple*, *cobertura dual*, y así sucesivamente. Un sistema de cobertura dual, por ejemplo, es uno en el cual cada usuario en tierra tiene a dos satélites en vista.

La puesta en órbita de los satélites representa una gran porción del costo total del lanzamiento. Los satélites LEO's son generalmente mucho más pequeños que los satélites GEO's. Como resultado de esto, es posible que varios satélites LEO puedan ser lanzados en un mismo vehículo. Casi todos los vehículos utilizados para lanzamientos de satélites GEO's pueden ser modificados para poder lanzar satélites LEO's. Aunque tales vehículos pueden ser usados para colocar en órbita a los satélites, pueden no siempre ser la mejor opción para reponer un satélite durante el tiempo de vida de la constelación.

Para la reposición de un satélite se tiene las siguientes opciones:

1. El sistema podría tener órbitas de repuesto
2. Se pueden tener satélites de repuesto en tierra, para que después sea puesto en órbita.

4.6.2. SISTEMAS CELULAR LEO

Una limitante en un sistema satelital LEO son las frecuencias, ya que deben de ser rehusadas. Para facilitar el rehúso de frecuencias, es deseable dividir el área total de cobertura del satélite en un cierto número de células adyacentes de una manera muy

similar a la de un sistema celular terrestre. Ya que los satélites LEO se están moviendo con respecto a un punto en la tierra, el tamaño de las células no se puede escoger de acuerdo a la distribución de la población de los usuarios. (como sería posible en los sistemas móviles satelitales GEO)

Ahora consideremos una cobertura en círculos y constituida por células como el que a continuación se ilustra [9].

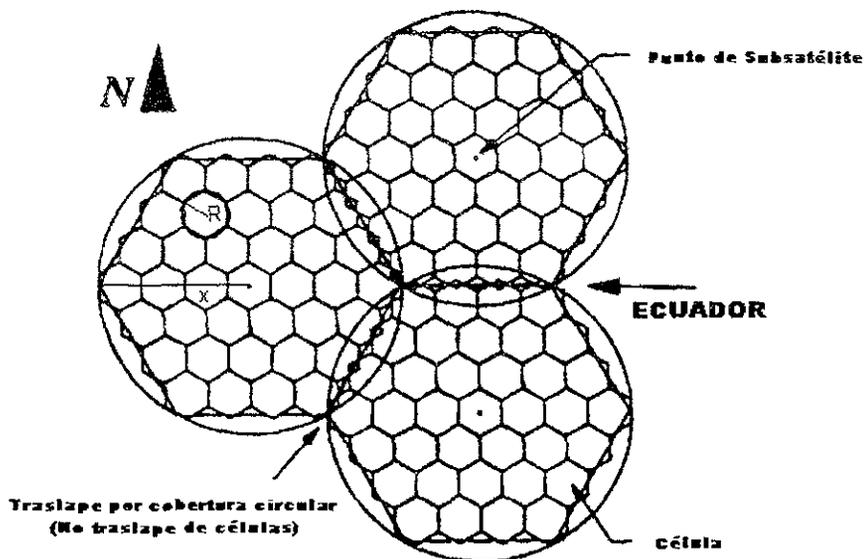


Figura 4.6.1 Cobertura celular

El radio de cobertura de un círculo esta dado por:

$$X = r_E \sin \phi \quad 4.6.1$$

El numero de células hexagonales dentro de un área de cobertura circular y el radio de las células son respectivamente:

$$N = 1 + 3n(n + 1) \quad R \cong \frac{2\pi r_c}{Ns(4n - \sqrt{3})} \cong \frac{2X}{(2n + 1)\sqrt{3}} \quad 4.6.2$$

donde n es el numero de anillos de células por área de cobertura.

En un sistema celular, la *transferencia de llamada* se realiza cada vez que se cambia de una célula a otra, o de un satélite a otro. Esto es, la conexión a la terminal se cambia de un canal de frecuencia asignado en una célula dada a una nueva frecuencia en una célula adyacente. Cada transferencia de llamada involucra una cantidad significativa de señalización y de procesamiento. En contraste con los sistemas celulares terrestres, un satélite LEO tiene un muy rápido movimiento de células y los usuarios se mueven muy despacio con respecto al satélite, por lo que la transferencia de llamada ocurrirá frecuentemente. Sin embargo la transferencia a una nueva célula se conoce por anticipado

Cada célula es cubierta por un haz. Entre más células haya dentro de un área de cobertura, más eficiente será el reuso de frecuencias. Por otra parte el diseño de la antena se vuelve más complicado, y la transferencia de llamada de célula a célula es más frecuente. También entre más alta se localice la órbita, menor será el número de satélites necesarios para cubrir esa área. Sin embargo provocará un incremento de distancia entre los satélites, que se traduce en un incremento de potencia y capacidad en el manejo de tráfico por cada satélite, lo que a su vez también incrementará el costo por satélite. Si la altitud del satélite es mayor, la ganancia de la antena debe ser mayor para mantener las mismas dimensiones de la célula, esto incrementa su complejidad y masa.

Claramente, los parámetros en un sistema satelital LEO se deben escoger en base a un complicado intercambio de varios factores incluyendo el número de células por zona de cobertura, el tamaño de las células, el número de canales por células, etc.

4.6.3. TECNOLOGIA "BENT-PIPE"

El "*bent-pipe*" más allá de ser una tecnología es un concepto en el cual el satélite no lleva a bordo ningún elemento de proceso ni de conmutación de señal. El satélite únicamente actúa como un repetidor e introduce sólo un pequeño retardo

Hay que notar que para un sistema satelital usando satélites "*bent-pipe*", la mayor parte de la complejidad se encuentra en el segmento terrestre (concentradores y computas).

4.6.4. ENLACES INTERSATELITALES E INTERORBITALES

Los enlaces intersatelitales e interorbitales son fundamentalmente herramientas para mejorar: conectividad, cobertura, flexibilidad y costo en redes multisatelitales.

Aunque los enlaces intersatelitales (ISL) e interorbitales (IOL) no son exclusivos de los sistemas satelitales LEO pero es en estos donde despliega su mayor potencial

La topología ISL depende de la cantidad de tráfico. Para minimizar los efectos provocados por el tiempo de retardo y de congestión cada satélite debe contar con al menos cuatro ISL. Dos para los enlaces con los satélites vecinos que se encuentren en la misma órbita y dos para los planos orbitales adyacentes.

Existen tres tipos de tecnologías para ISL e IOL:

- Microondas.
- Ondas Milimétricas.
- Ópticas.

La elección de alguna de ellas depende de muchos factores entre los cuales están: La capacidad de comunicación, precisión en el control, potencia disponible, etc.

Ventajas de ISL:

- Los satélites no necesitan estar en vista con alguna estación terrena; permitiendo una verdadera cobertura global (incluyendo océanos) con un pequeño número de estaciones terrestres.
- Provee redundancia si una estación terrena falla o se encuentra fuera de control.
- Un incremento en la independencia que tiene el satélite con las estaciones terrenas.
- La disminución de costos al tener a dos usuarios hablando dentro de la misma constelación.

Desventajas de ISL:

- Cada satélite de la constelación necesita tener dispositivos para el procesamiento y conmutación de la señal de ISL.
- Existe una mayor complejidad tanto en el sistema como en el manejo del mismo (Potencia, peso, software, etc.).
- El satélite incrementa su dependencia al segmento espacial.
- En un sistema tradicional, donde la mayor inteligencia reside en tierra, es posible llevar a cabo una expansión o actualización, mientras que para un sistema ISL se debe tener un diseño muy bien definido

4.6.5. EFECTOS AMBIENTALES SOBRE SATELITES LEO

Todos los satélites en el espacio experimentan algunos efectos detrimentes. El ambiente al que están sujetos los satélites LEO's es diferente al de los GEO's. La radiación iónica es una de los mayores riesgos que existen en todas las órbitas a cualquier altitud. Otras fuentes que causan daño son los rayos solares y cósmicos. Sin embargo, el campo magnético terrestre atrapa muchas de las partículas cargadas dentro de dos cinturones toroidales concéntricos llamados "Cinturones de radiación de Van Allen". El más bajo consiste predominantemente de protones de alta velocidad y el más alto de electrones. El nivel de radiación en los cinturones varía con respecto a la época del año, latitud geográfica y la actividad geo-magnética y solar. En promedio, los picos de radiación alcanzan una distancia de 2,200 y 18,500 Km sobre la tierra.

Debido a la existencia de los cinturones, todas las órbitas por debajo de ellos se encuentran protegidas de la radiación espacial. Los satélites en la proximidad o a través de los cinturones requieren medidas protección especial tal como componentes electrónicos contra radiación. En los satélites HEO, las partículas provenientes del viento solar pueden causar un daño electrostático en los componentes electrónicos.

Los paneles solares, en particular, son vulnerables a la radiación y oxidación. Una capa gruesa de un polímero o vidrio debe ser usada para protegerlos de tales efectos.

Escombros espaciales, meteoritos y hasta combustible usado, se suman al ambiente hostil en el que están inmersos los satélites LEO's. Por ejemplo a causa de la atracción gravitacional terrestre mucho más meteoritos se localizan a más bajas alturas.

4.6.6. EFECTO DOOPLER

Los enlaces de comunicaciones en los satélites LEO's sufren grandes corrimientos en frecuencia debidos al efecto Doppler. Estos corrimientos son el resultado del movimiento relativo del satélite con la terminal, estación base u otro satélite. Este efecto depende del tipo de modulación, técnica de multiplexación y método de acceso al medio.

Para los usuarios en tierra, el corrimiento en la frecuencia Doppler cambia conforme el satélite pasa encima de ellos. Este valor depende de la latitud y posición que la terminal guarda en la zona de cobertura del satélite.

Algunos métodos básicos para compensación del efecto Doppler son:

- Control de frecuencia Terminal-Satélite y Satélite-terminal.
- Corrección de Doppler en el satélite.

El primer método ofrece un control muy preciso sobre el corrimiento en la frecuencia, pero requiere equipo complicado tanto en el satélite como en las terminales. El segundo método es independiente de las terminales y requiere equipo simple, pero introduce errores en la frecuencia de recepción.

4.6.7. CONFIABILIDAD Y DISPONIBILIDAD

Las medidas de confiabilidad y disponibilidad pueden ser definidas para un sistema de comunicación satelital, para un satélite o para un enlace de comunicación.

La confiabilidad de un sistema es la probabilidad de que el sistema permanezca operando durante cierto periodo de tiempo. Se determina por la confiabilidad de los componentes del sistema.

Para eliminar puntos de falla e incrementar la confiabilidad usualmente los componentes del sistema se duplican y ordenan en configuraciones redundantes.

La disponibilidad del sistema es el porcentaje de tiempo, sobre algún periodo de tiempo, en el que el sistema realiza sus funciones a un cierto nivel específico de rendimiento.

La confiabilidad del sistema es el factor dominante en la disponibilidad total del sistema de comunicación satelital. Una falla en el sistema, un subsistema, o una unidad no puede ser reparada. Una falla en el satélite puede presentarse en forma aleatoria, por un componente desgastado o por la terminación de combustible.

La disponibilidad del sistema y del enlace están relacionadas, pero tienen diferentes características. La disponibilidad de un sistema A_s depende de la disponibilidad de la terminal A_{term} , la disponibilidad del satélite A_{sat} y la disponibilidad de la estación terrena A_g y puede ser expresada como [9]:

$$A_s = A_{term} * A_{sat} * A_g \quad 4.6.3$$

La disponibilidad de un enlace de comunicaciones A_l depende de la disponibilidad del equipo A_{equip} y la disponibilidad de la propagación A_{prop} :

$$A_l = A_{equip} * A_{prop} \quad 4.6.4$$

La disponibilidad de la propagación A_{prop} es influenciada por las pérdidas atmosféricas, obstaculización, efectos de multitrayectoria y interferencia. La disponibilidad en el equipo depende de la confiabilidad de todos los equipos desde el transmisor y receptor en la terminal, a través del transpondedor y en el transmisor y receptor de la estación terrestre.

Para sistemas multisatélite, con o sin enlaces intersatelitales, la disponibilidad del enlace también dependerá del número de satélites que el usuario tenga en vista en un cierto instante.

Un sistema con cobertura doble o múltiple tendrá una mayor disponibilidad que los sistemas con una cobertura simple.

La principal diferencia entre los satélites GEO's y LEO's con respecto a la disponibilidad es que debido a que los satélites LEO's son de menor peso, entonces es posible proveer un nivel más alto de redundancia.

4.7. ANALISIS DE ENLACE

Para un sistema satelital LEO, la distancia S entre el satélite y la terminal tiene un valor máximo de [9]:

$$S_{\max} = (r_E + h) \frac{\sin \phi}{\cos \gamma} = \sqrt{(r_E + h)^2 - r_E^2 \cos^2 \gamma} - r_E \sin \gamma \quad 4.7.1$$

Las pérdidas de la trayectoria y el retardo en la propagación de la señal son respectivamente:

$$L_f = 20 \log \frac{4 \pi s f_o}{c} \quad 4.7.2$$

$$\tau_p = \frac{S}{C} \quad 4.7.3$$

La pérdida total del enlace consiste de las pérdidas en el espacio libre, más un número de pérdidas menores. Otras fuentes de pérdidas en el enlace son:

- pérdidas de propagación atmosférica.
- pérdidas de refracción atmosférica.
- pérdidas de centelleo atmosférico.
- pérdidas de precipitación atmosférica.
- pérdidas por errores de apuntamiento de las antenas.

El retardo total en la señal consiste en el retardo de propagación de la señal más el retardo en el procesamiento de la señal. Si el sistema cuenta con enlaces intersatelitales existe un retardo adicional proporcionado por el paso de la señal de satélite a satélite. En este tipo de enlaces también se incorporan retardos por procesamiento y conmutación.

El retardo en el tiempo puede ser un problema para las comunicaciones de voz especialmente si se presenta eco debido a reflexiones. Para un sistema GEO el rango de retardo por propagación se encuentra entre 138.9 ms y 119.3 ms. Para un sistema LEO el rango de distancias de comunicación posibles, pérdidas de propagación, retardos de propagación y el tiempo que el satélite permanece en vista con las terminales se muestran en las siguientes figuras.

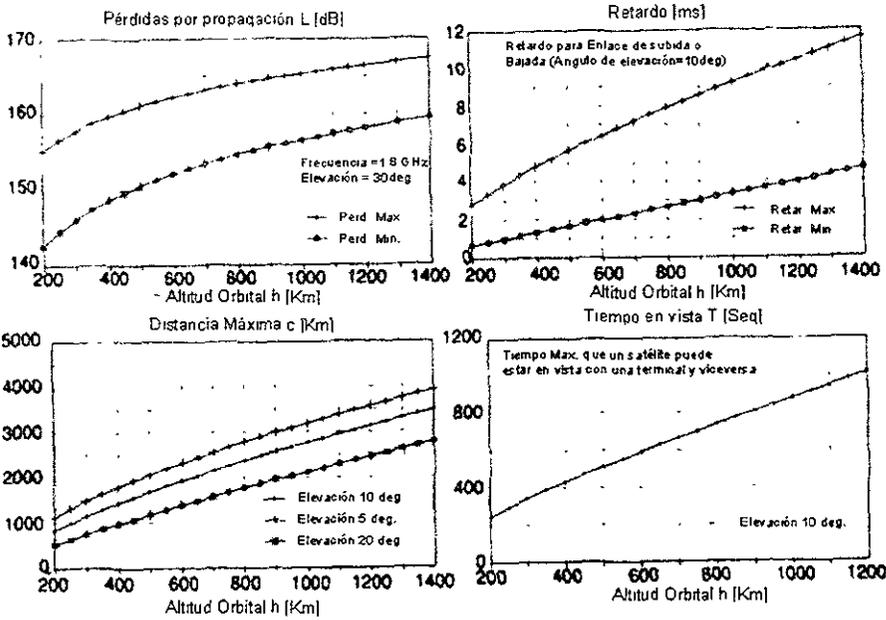


Fig. 4.7.1 Gráficas de pérdidas, retardo, distancia máxima y tiempo en vista contra altitud

El tiempo que permanece el satélite en línea de vista con un usuario depende de la altitud. Con este tiempo también se determina la frecuencia con la que el satélite tendrá que realizar una transferencia de llamada.

Una medida universal para la calidad del enlace, es la relación portadora a ruido C/N₀ y esta dada por:

$$\frac{C}{N_0} = \text{PIRE} - 20 \log \frac{4\pi s f_0}{c} + 10 \log \frac{G}{T} + 10 \log L_d - 10 \log k \quad 4.7.4$$

En el diseño de un sistema satelital LEO la selección de la banda de frecuencia es muy importante para el rendimiento y costo del sistema. Las comunicaciones en bajas frecuencias están sujetas a centelleo causado por la ionosfera, especialmente en las banda VHF y UHF. Las altas frecuencias sufren de pérdidas por lluvia, particularmente las frecuencias que se encuentra en y por encima de la banda X.

Para comunicaciones móviles de la terminal al satélite y del satélite a la terminal, las bandas de frecuencias más utilizadas son la banda VHF, la UHF, la bande L y la banda S.

Si las terminales tienen antenas omnidireccionales, las frecuencias bajas tienen una ventaja ya que la potencia de salida requerida es menor que para las frecuencias altas. Esto es debido a que se reducen las pérdidas de propagación.

Para comunicaciones de voz, la banda L, al parecer, es la que ofrece la mejor relación entre todos los parámetros importantes: dimensiones de la antena, capacidad de disponibilidad, bajos costos en la potencia de transmisión, entre otras. La desventaja es la saturación de esta banda por otros sistemas de radio.

En un sistema móvil satelital LEO, las terminales de los usuarios se encuentran limitadas tanto por la apertura de la antena como por el ruido en el receptor, por lo tanto necesitan la máxima potencia posible del satélite.

Los enlaces entre las terminales y el satélite son los más críticos. Para un enlace de subida, las limitantes en la terminal son: la ganancia limitada, la potencia de RF y el ruido. Este enlace impone las características de rendimiento del sistema y dimensiones de las terminales.

4.8. DISEÑO DE UN SISTEMA NO-GEO

Como se ha visto un sistema de comunicación satelital consiste de segmento espacial y terrestre. El diseño de cada segmento no puede ser realizado de manera independiente. El objetivo del diseño es conseguir un nivel de rendimiento deseado, una mayor confiabilidad en cada segmento y una eficiencia en el uso de las frecuencias buscando siempre la reducción en los costos.

Para realizar estos objetivos, los segmentos espacial y terrestre se deben diseñar simultáneamente. El diseño de los satélites debe de guardar cuatro premisas básicas.

1. Masa mínima
2. El menor consumo de potencia eléctrica
3. Alta confiabilidad y disponibilidad
4. Reducción en los costos.

El costo de un canal de comunicación satelital es proporcional a la potencia de salida de dicho canal. Entre menor sea la potencia del canal y mayor su eficiencia, no sólo se reducen los costos sino que también la masa total del satélite.

El diseño del sistema LEO comienza con el establecimiento de parámetros básicos como son: tipo de tráfico, cantidad de tráfico a manejar, cobertura, entre otros. Basados en los parámetros se realiza una selección del tipo de órbita.

El siguiente paso en el diseño es la determinación del ángulo de elevación mínimo que como ya se vio anteriormente determina la disponibilidad del enlace. Con todo lo anterior se puede escoger la altitud orbital (LEO o MEO) y el número de satélites a usar. La altitud orbital es un parámetro crucial en la relación que existe entre el rendimiento del sistema y el costo del mismo.

En resumen, la principal ventaja de los satélites LEO es la disminución de la distancia entre las terminales de los usuarios y el satélite lo que se refleja en una disminución en la potencia tanto proporcionada por el satélite como por la terminal y una compactación en las terminales debido a la reducción de pérdidas en el enlace. A todo lo anterior se suma un menor retardo en la señal.

Sin embargo para proveer una cobertura global, continua, se necesita un numero considerable de satélites.

4.9. GLOBALSTAR

Globalstar es un sistema de telecomunicaciones inalámbrico, basado en satélites y que está diseñado para proveer servicios de voz, datos, fax, mensajes, entre otros servicios, a usuarios de todo el mundo. Los usuarios harán y recibirán llamadas usando terminales de mano o montadas en vehículos similares a un teléfono celular. Las llamadas serán transmitidas a través de una constelación de 48 satélites LEO.

Globalstar ha seleccionado a CDMA como la tecnología de acceso al medio; además ha decidido usar a los satélites únicamente como repetidores por lo que sigue el principio del "*bent-pipe*".

La cobertura Globalstar es casi mundial, la siguiente figura lo ejemplifica.

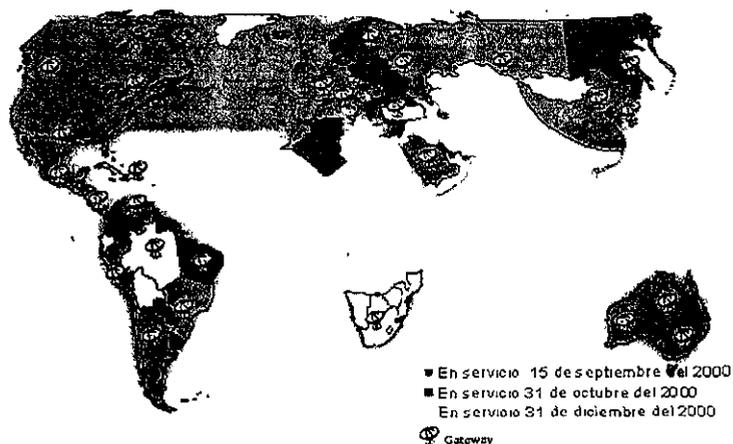


Figura 4.9.1 Cobertura Globalstar

4.9.1. SEGMENTO ESPACIAL GLOBALSTAR

DESCRIPCION DEL SATELITE

Globalstar tiene una constelación de 8 planos inclinados a 52° en órbitas circulares. Cada plano contiene seis satélites a una altitud de 1,414 Km.

Con esta configuración se maximiza el área de cobertura en la superficie de la tierra, evita órbitas polares en bajas latitud y minimiza interferencia de los campos de Van Allen.

En realidad la constelación Globalstar está compuesta de 52 satélites, 48 de los cuales se encuentran en operación y los restantes se encuentran en órbitas de repuesto.

El cuerpo del satélite es forma trapezoidal lo que facilita que varios satélites puedan ser apilados dentro de un cilindro que tiene el vehículo que los pondrá en órbita.

La cara más larga del satélite es orientada hacia la tierra después de la puesta en órbita y de su estabilización. Contiene todo el equipo de comunicación y los sensores ópticos terrestres. En su exterior están montadas todas las antenas (cuatro antenas) usadas para la comunicación normal con los usuarios y la compuerta.. En el interior se localiza todo el equipo electrónico necesario para la comunicación.

En el panel norte esta montado el procesador de control, mientras que en el panel sur se encuentran las baterías de níquel-hidrógeno. En los paneles este y oeste se localizan las celdas solares.

La cara posterior del satélite contiene cuatro antenas de GPS (Sistema de Posición Global) que a su vez alimentan cuatro receptores GPS; estos receptores son usados para obtener una referencia acerca del tiempo, posición y altitud del satélite. El GPS reporta la posición del satélite con una exactitud de 5mts. En esta cara también se encuentran las antenas para telemetría y control.

El satélite usa un arreglo de celdas solares como fuente primordial de energía, aunque utiliza baterías durante los eclipses. El subsistema de energía genera hasta 2,200 W al comienzo de la vida del satélite y hasta 1,400 W en la parte final de este, conservando los paneles solares dirigidos hacia el sol.

Otros parámetro importantes acerca del satélite son [11]:

- Su peso: aproximadamente de 445 Kg cuando el tanque esta lleno.
- Periodo orbital: 113 minutos.
- La primera generación de satélites tiene una vida útil de 7 1/2 años.
- $G/T = -18 \text{ dB/k}$

CARGA UTIL DEL SATELITE

El sistema Globalstar fue diseñado para soportar usuarios con terminales de mano similares a un teléfono celular. Esto significa que la carga útil del satélite necesita adecuar su ganancia, potencia y sensibilidad sobre todo su campo de vista además de que debe de proveer una señal confiable para las pequeñas antenas de las terminales.

La potencia necesaria para poder mantener el enlace terminal-satélite, debe de ser menor de 1W en el peor de los casos. La potencia promedio es de aproximadamente de 0.2W. El sistema tiene que ser capaz de soportar a más de seis millones de usuarios.

El arreglo activo de antenas genera, simultáneamente, 16 haces. La ganancia a través de cada ruta de RF esta compuesta por tres segmento: El amplificador de bajo ruido (LNA), el trasladador de frecuencia (convertidor a baja frecuencia en la ida y convertidor de alta frecuencia para el regreso) y el amplificador de estado sólido (SSPA). Un control autónomo maneja la energía requerida del subsistema de potencia como una función de la carga de tráfico.

Se muestra un diagrama a bloques de los transpondedores:

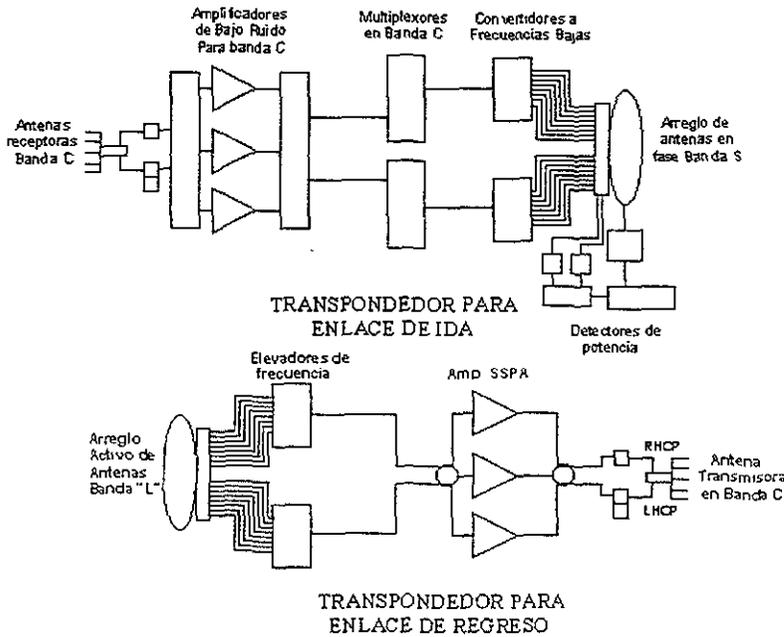


Figura 4.9.2 Transpondedores

4.9.2. SEGMENTO TERRESTRE

COMPUERTA

La compuerta es una parte integral del segmento terrestre. Incluye al Centro de Control de Operaciones Terrestres (GOCC's), El Centro de Control de Operaciones Satelitales (SOCC's) , y le Red de Datos Globalstar.

La compuerta interconecta la red inalámbrica Globalstar basada en satélites con la con la Red Móvil Pública Terrestre (PLMN), tal como AMPS o GSM, o directamente a la Red Telefónica Pública Conmutada (RTPC).

Una compuerta típicamente consiste de cuatro antenas con un diámetro de 6 mts. Cada antena dirige las señales recibidas hacia un subsistema de RF que reconoce las señales pertenecientes al sistema, en cuanto a frecuencia se refiere. Posteriormente las señales son dirigidas al subsistema CDMA que las clasifica en base al código CDMA. Una vez que las señales han sido clasificadas, son paquetizadas y enviadas a la central telefónica IS-41 o un Alcatel GSMSC, para ser enviadas por troncales T1 ó E1 [11].

La compuerta se diseña de una manera modular para dar flexibilidad a fin de que pueda crecer conforme la demanda del mercado.



Figura 4.9.3 Compuerta

EL CENTRO DE CONTROL DE OPERACIONES TERRESTRES (GOCC)

Es responsable de la planeación y control de la utilización del satélite por parte de las compuertas. El GOCC's planea horarios de comunicación para las compuertas y controla la asignación de los recursos del satélite para cada uno de ellos.

Las compuertas tiene la capacidad de procesar tráfico en tiempo real.

CENTRO DE CONTROL DE OPERACIONES SATELITALES (SOCC)

Maneja la constelación de satélites Globalstar. El SOCC sigue la trayectoria de los satélites, controla las órbitas y da servicios de Telemetría y Comando. El SOCC también supervisa la puesta en órbita de satélites y actividades de desarrollo.

RED GLOBAL DE DATOS (GDN)

Es la que provee la interconectividad entre el SOCC y el GOCC.

4.9.3. PLAN DE FRECUENCIAS

El plan de frecuencias usadas en Globalstar es el siguiente [11]:

- Terminal a Satélite: Banda L (1610-1626.5 MHz)
- Satélite a Terminal: Banda S (2483.5-2500 MHz)

- Compuerta a Satélite: Banda C (5091-5250 MHz)
- Satélite a Compuerta: Banda C (6875-7055 MHz)

4.9.4. DESCRIPCION DE ENLACES GLOBALSTAR

El enlace de ida esta conformado por los enlaces satélite-terminal y compuerta-satélite.

Para el enlace Satélite-Terminal tenemos que 16 transpondedores amplifican 16 canales para que posteriormente pasen a un arreglo activo de antenas en fase para transmitir 16 haces.

En el enlace compuerta-satélite se tiene un haz con una multiplexación de 8 canales FDM (multiplexación por división de frecuencia). Cada canal soporta dos señales, una con polarización circular derecha (RHCP) y la otra con polarización circular izquierda(LHCP)

El enlace de regreso consiste de los enlaces terminal-satélite y satélite- compuerta.

Para el enlace satélite- compuerta se tiene un haz, siguiendo la misma canalización descrita en el enlace compuerta -satélite.

Para el caso terminal-satélite, el satélite recibe 16 haces por medio de un arreglo activo de antenas en fase. Estas antenas a su vez alimentan a 16 transpondedores.

La figura 4.9.4 describe el plan de frecuencias usado para las bandas S y L.

Antes de continuar se definirán dos importantes conceptos [11]:

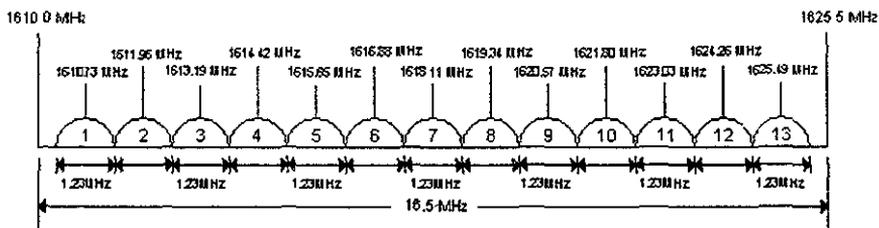
“FEEDERLINK BAND”

Es un canal de aproximadamente 160 MHz que contiene *feederlink subbands* contiguos. Cada *feederlink band* contiene 16 *feederlink subbands*.

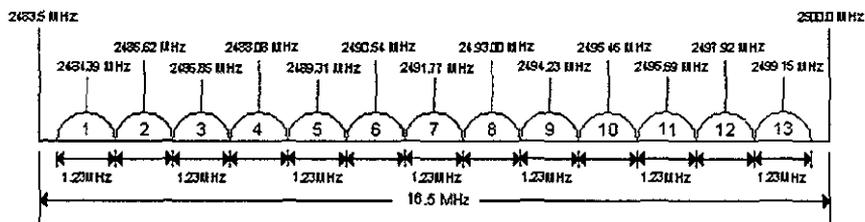
“FEEDERLINK SUBBAND”

Es un canal con un ancho de banda de 16.5 MHz que contiene 13 canales FDM. A cada canal FDM se le asigna un haz (Para el caso de un enlace satélite-terminal).

Existen 16 *feederlink subband* para un enlace de bajada y 16 para el enlace de subida. Ocho de los 16 *feederlink subband* usan una polarización circular derecha (RHCP) y los restantes una polarización circular izquierda(LHCP)



PLAN DE FRECUENCIAS PARA LA BANDA "L"



PLAN DE FRECUENCIAS PARA LA BANDA "S"

Figura 4.9.4 Planes de frecuencia

Con estos conceptos podemos afirmar que:

- Para los enlaces entre el satélite y la terminal: en este tipo de enlaces se tiene 16 haces de subida y 16 de bajada. A cada haz se le asigna una *feederlink subband* (BW=16.5 MHz) que contiene 13 canales FDM de 1.23 MHz. Cada canal contendrá hasta 128 códigos *Walsh* CDMA que soportan hasta 60 usuarios simultáneos.
- En los enlaces entre el satélite y la compuerta: Para estos enlaces tenemos 2 haces, uno de subida y otro de bajada. A cada haz le corresponde un *feederlink band* (BW=160MHz) que esta a su vez esta compuesto de 16 *feederlink subband* como ya anteriormente se había descrito.

El área de cobertura en la banda S se muestra en la figura 4.9.5. En la primera de ellas se define el asignamiento de los *feederlink subband* de acuerdo a su polarización, en la segunda figura se realiza una enumeración de los haces.

El diámetro de la mancha es de 360 millas. El tiempo aproximado en el que la huella del satélite cubrirá al usuario es de 15 minutos.

Similarmente, para la banda L la asignación de los haces se muestra en la figura 4.9.6.

Los usuarios accesan a la compuerta a través de los satélites. El conocimiento anticipado en la ganancia que el satélite usara, es critico para el manejo de tráfico. Esta ganancia predecida junto con la estabilidad de la misma en cada transpondedor, son el punto clave en el éxito de una asignación eficiente de potencia en cada satélite.

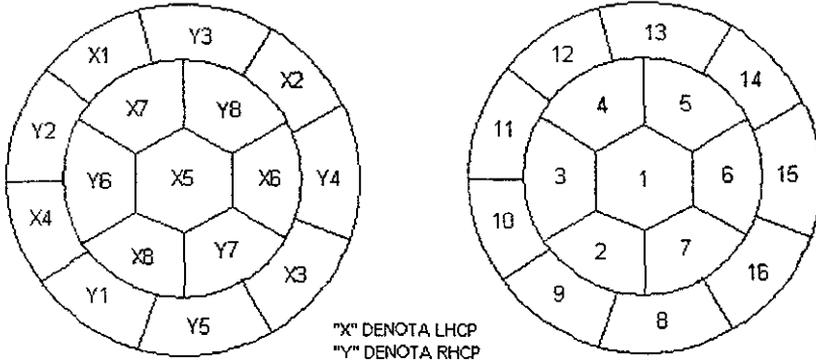


Figura 4.9.5 Asignación de haces para la banda S

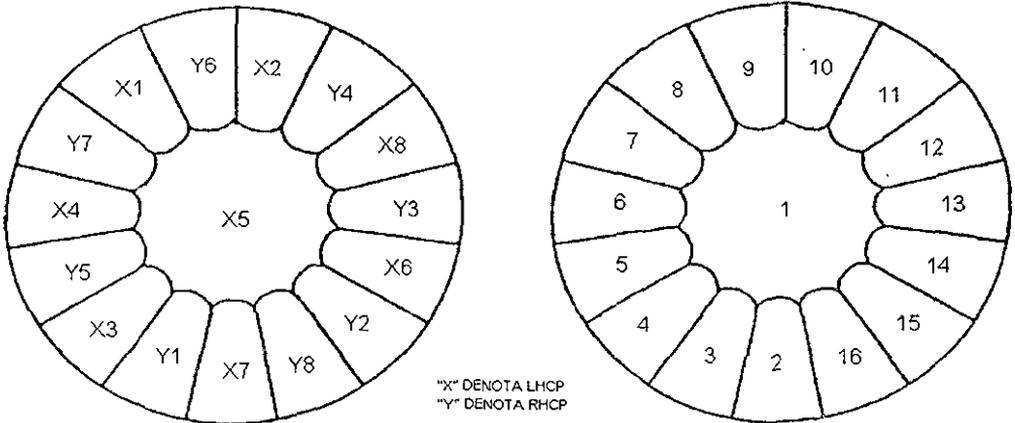


Figura 4.9.6 Asignación de haces para la banda L

Los niveles de potencia para un canal en el enlace de ida se asignan de acuerdo a una "ganancia predecida" calculada a través de un haz en un transpondedor específico. Una "ganancia predecida" que sea demasiado alta dará a los usuarios en regiones de baja ganancia dificultades en el enlace. Una "ganancia predecida" que sea demasiado baja provocará un exceso de potencia para todos los usuarios. Es por ello que debe de limitarse la carga de tráfico en cada satélite.

Las compuertas usan enlaces de subida restringidos, tal que sólo la potencia autorizada por el Centro de Control y Operaciones del compuerta (GOCC) a cada compuerta será accesada al satélite. El GOCC da instrucciones, cada minuto, para que cada compuerta ajuste su potencia, basado en la carga de tráfico.

La terminal cierra el enlace usando únicamente la suficiente potencia isotrópica radiada efectiva (PIRE), por medio de un sistema de control de potencia que es manejado desde tierra. Cada terminal reporta el nivel y calidad de la señal a la compuerta. La compuerta ajusta el nivel de potencia de subida para mantener la calidad del enlace.

De esta forma a cada usuario se le asigna la potencia necesaria para mantener el enlace con el satélite. Esto da como resultado que la carga de tráfico a través del satélite pueda ser maximizada.

Globalstar hace uso de una técnica llamada "diversidad de ruta" que es un método de recepción de señal. Este método permite la combinación de varias señales con potencias diferentes dentro de una señal coherente. Las terminales se comunicaran con al menos 3 satélites.

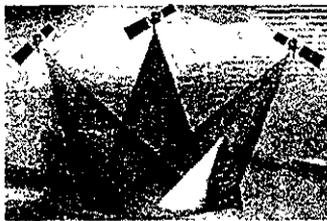


Figura 4.9.7 Diversidad

Dado que los satélites se mueven constantemente, entran y salen de vista con las terminales, es decir se suma o se quitan de una llamada en progreso, por lo que se reduce el riesgo de una interrupción de llamada. A esta característica se le llama transferencia de llamada suave.

POTENCIA ISOTROPICA RADIADA EFECTIVA(PIRE)

PIRE (ENLACE DE IDA)

Para la banda "S", la Potencia Isotrópica Radiada Efectiva (PIRE) incluye la señal descada en CDMA, interferencia, ruido térmico, señales de intermodulación y contribuciones de polarización cruzada.

El cálculo del PIRE entregado por la antena comienza con la medición de cada patrón correspondiente a cada uno de los 16 haces. Los patrones son analíticamente combinados para establecerse los límites del haz. Se obtienen 500 puntos muestra para el cálculo del PIRE promedio.

El PIRE promedio sobre el 100% del área de un haz específico es de 29 dBw. Este valor promedio es válido para cada uno de los 16 haces.

4.10. CALCULO DE ENLACE PARA LA CD. DE LEON

El propósito del siguiente cálculo es comprobar que la potencia ofrecida por el sistema *Globalstar* es la suficiente para dar servicio a todos nuestros posibles usuarios de la ciudad de León.

CALCULO DE TRAFICO

Como se vio en los anteriores capítulos la cantidad de posibles usuarios, tanto para nuestra red CDMA como TDMA, es de aproximadamente 80,000 usuarios dentro de un lapso de tiempo de 5 años.

El sistema *Globalstar* actuaría como complemento hacia nuestras redes TDMA y CDMA. Además considerando que no todos los usuarios de dichas redes celulares necesitan a *Globalstar* para satisfacer sus necesidades de comunicación y que no todos pueden pagar éste servicio, se opta por tomar en cuenta sólo el 5% del total como nuestros posibles clientes.

Al igual que calculo de tráfico para CDMA y TDMA consideraremos la misma tasa de crecimiento.

Tenemos que el total de usuarios para las redes celulares son:

$$U_t = 80,000 \text{ usuarios}$$

Considerando que el numero de usuarios *Globalstar* es el 5% de U_t

$$U_g = 80,000(0.05) = 4,000 \text{ usuarios}$$

Además, para un sistema celular se tienen los siguientes valores:

$$n = 1.5 \text{ (número de llamadas por hora por usuario)}$$

$$t = 125 \text{ seg (duración promedio por llamada)}$$

Los usuarios (U_g) preferentemente usaran su servicio celular así que el sistema *Globalstar* actuaría cuando nuestros usuarios se localicen en zonas de no cobertura celular o estando en zona de cobertura celular pero la recepción de señal sea muy mala. Es por lo anterior que no podemos tomar el mismo valor de n así que se considerará que un usuarios *Globalstar* realiza dos llamadas por día.

$$n_g = 0.83 \text{ (Numero de llamadas por hora por usuario)}$$

$$t_g = 125 \text{ seg (Duración promedio de la llamada)}$$

El tráfico para nuestra red satelital por usuario en Erlangs sería:

$$A_u = 0.83(125)/3600 = 0.0028 \text{ Erlangs}$$

entonces nuestro tráfico para todos nuestros usuarios:

$$A = 4,000(0.0028) = 11.53 \text{ Erlangs}$$

Es claro que un sistema satelital no podrá soportar un grado de servicio(GOS) equivalente al de una red celular, es por eso que:

$$GOS = 20 \%$$

En tablas de Erlangs para un $A = 11.53$ y un GOS de 20 % tenemos que el numero de troncales necesarias para satisfacer nuestros usuarios son:

$$T_k = 12 \text{ troncales.}$$

Al igual que en una red celular nuestros posibles usuarios no adquirirán al mismo tiempo el servicio, sino que se tiene que dar un aumento gradual. Tomando en cuenta el mismo porcentaje de crecimiento de nuestras redes celulares, 15% para el primer año, 30% para el segundo, 50 en el tercero y 75% para el último año tenemos que:

PRIMER AÑO

El 15% de 4,000 usuarios:

$$U_g = 4,000 (0.15) = 600 \text{ usuarios}$$

el trafico total:

$$A = 600(0.0028) = 1.68 \text{ Erlangs}$$

con un total de trocales de :

$$T_k = 2 \text{ Troncales}$$

SEGUNDO AÑO

El 30% de 4,000 usuarios:

$$U_g = 4,000 (0.3) = 1,200 \text{ usuarios}$$

trafico total:

$$A = 1,200 (0.0028) = 3.36 \text{ Erlangs}$$

para un total de troncales de:

$$T_k = 5 \text{ troncales.}$$

TERCER AÑO

50% de 4,000 usuarios.

$$U_g = 4,000 (0.5) = 2000 \text{ usuarios}$$

con un trafico de :

$$A = 2000 (0.0028) = 5.6 \text{ Erlangs}$$

con un total de troncales de:

$$T_k = 7 \text{ Troncales}$$

CUARTO AÑO

75 % de 4,000 usuarios.

$$U_g = 4,000 (0.75) = 3,000 \text{ usuarios}$$

que generan el siguiente tráfico:

$$A = 3,000 (0.0028) = 8.4 \text{ Erlangs.}$$

dando por resultado :

$$T_k = 9 \text{ troncales.}$$

CALCULO DE PIRE (POTENCIA ISOTROPICA RADIADA EFECTIVA)

Nuestro satélite debe de proporcionar una cierta cantidad de potencia (PIRE) para poder satisfacer a nuestro tráfico total.

Nuestro sistema soportará transmisión de voz y datos. Teóricamente sabemos que al menos para voz se necesita un BER (Bit Error Rate) de $1E-4$ y para datos un BER de $1E-9$.

Utilizando una modulación QPSK (por cuadratura de fase). se tiene que [11]:

$$\begin{array}{ll} \text{BER} & E_b/N_o \\ 1 E-9 & 12.6 \text{ dB} \end{array}$$

con la relación señal a ruido

$$E_b/N_o = C/N_o - 10 \log R \quad 4.10.1$$

donde C/N_o es la relación portadora a densidad de ruido y R es la tasa de bits.

$$C/N_o = \text{PIRE} - L + G/T_s + 228.6 \quad 4.10.2$$

donde L son las pérdidas en el espacio y G/T_s es la figura de mérito.

$$L = 20 \log S + 20 \log f + 92.45 \quad 4.10.3$$

siendo S distancia de la tierra al satélite en Km y f es la frecuencia en GHz. Para nuestro caso tenemos que:

$$S = 1414 \text{ Km}$$

$$f = 2.5 \text{ GHz (enlace satélite-terminal, banda S)}$$

Tomando en cuenta los valores anteriores.

$$L = 20 \log 1414 + 20 \log 2.5 \text{ GHz} + 92.45 = 163.42 \text{ dB}$$

G/T_s es un parámetro propio del sistema el cuál comúnmente tiene el siguiente valor [11]:

$$G/T_s = -18 \text{ dB/K}$$

así que

$$C/N_o = \text{PIRE} - 163.4178 \text{ dB} - 18 \text{ dB/k} + 228 \quad 4.10.4$$

$$C/N_o = \text{PIRE} + 46 \text{ 5822}$$

sustituyendo

$$E_b/N_o = C/N_o - 10 \text{ Log R} \quad 4.10.5$$

$$E_b/N_o = \text{PIRE} + 46.5822 - 10 \text{ Log R} \quad 4.10.6$$

con $R = 9.6 \text{ Kbps}$

$$E_b/N_o = \text{PIRE} + 46.5822 - 39.8227 \quad 4.10.7$$

$$E_b/N_o = \text{PIRE} + 6.7595 \quad 4.10.8$$

Como $E_b/N_o = 12.6 \text{ dB}$

$$\text{PIRE} = 12.6 - 6.7595$$

$$\text{PIRE} = 5.8405 \text{ dB}$$

El valor de PIRE es por haz.

CAPITULO V RESULTADOS

TRAFICO Y BLOQUEO DE LLAMADAS

De las primeras cosas que se tuvieron que analizar en los diseños propuestos en éste trabajo estuvo lo referente a la capacidad de los sistemas. Mientras que en TDMA se cuenta con una capacidad fija por radiobase, en CDMA se tiene una capacidad variable en las mismas. Básicamente la diferencia estriba en la manera en la cual ambas manejan las transferencias de llamadas y en una característica especial de CDMA: el bloqueo suave.

En TDMA las llamadas comienzan a ser bloqueadas cuando una radiobase ya no cuenta con más circuitos de voz para proveer el servicio. CDMA utiliza como criterio para el bloqueo (suave) la interferencia que producen los usuarios sin importar que la radiobase aún tenga circuitos libres. Lo anterior nos lleva a concluir que TDMA utiliza un criterio bastante rígido para el bloqueo, lo que impone un límite estricto en la capacidad del sistema, ya que cualquier usuario nuevo que se quiera añadir se verá imposibilitado de hacerlo. CDMA mientras tanto proporciona una mayor flexibilidad ya que permite a un nuevo usuario añadirse al sistema disminuyendo simplemente la potencia de transmisión de los demás usuarios. Cabe aclarar que ambas tecnologías ofrecen la posibilidad al usuario de tomar otra radiobase para que le preste servicio siempre y cuando se tengan niveles de señal suficiente.

En el cálculo de tráfico de un sistema satelital existen variaciones con respecto a un sistema celular. En primer plano tenemos que no todos nuestros usuarios de nuestras redes celulares necesitan a un sistema satelital como complemento, ya sea por que no es tan grande su necesidad de comunicación o simplemente por los altos costos en la utilización de la red satelital.

Otro hecho importante es que los parámetros de grados de servicio (GOS), duración promedio de una llamada (t) y el número de llamadas por usuario no son los mismos. Para un sistema de PCS se debe de tomar en cuenta que miles de usuarios pueden llegar a realizar varias llamadas en un lapso de una hora; en un sistema satelital no puede ser así principalmente por los altos costos que esto implicaría. Esto se hace evidente en el diseño de nuestros sistemas ya que mientras en el sistema de PCS se consideró que un usuario realiza en promedio 1.5 llamadas por hora, en el sistema satelital se tuvo que considerar que el usuario realiza dos llamadas por día.

Además, el grado de servicio (GOS) es menor debido a que las condiciones en las que se ve inmerso un sistema satelital no permiten tener la misma confiabilidad que un sistema inalámbrico terrestre.

PROCESAMIENTO DE LA SEÑAL DE VOZ Y CAPACIDAD

Los siguientes resultados se explican utilizando como ejemplo a los canales de bajada, sin embargo, dichos resultados se aplican también para el canal de subida variando sólo algunos parámetros.

Considérese la siguiente figura:

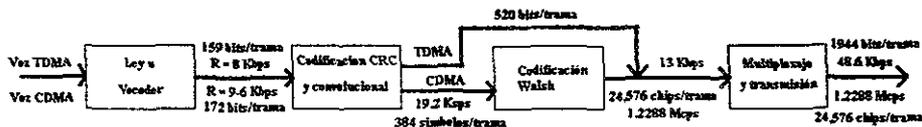


Figura 5.1.1 Procesamiento en TDMA y CDMA

La señal en TDMA originalmente cuenta con 159 bits de información antes de comenzar a ser procesadas, mientras que la señal en CDMA inicia con 172 bits. Ambas comienzan su procesamiento protegiéndolas con códigos de detección de errores empleando codificación CRC así como codificación convolucional. Al final de éste proceso se tienen tramas de 520 para TDMA (dos ranuras de 260 bits por trama para un usuario) y 384 bits para CDMA. Cabe señalar que los bits de protección para CDMA se aplican a toda la trama de usuario mientras que los bits de protección para TDMA se aplican sólo a la parte más significativa de la trama (los bits de clase 1). De aquí podemos concluir que TDMA pone más énfasis en la protección de bits y detección de errores que CDMA.

Al igual que TDMA, CDMA lleva a cabo control de potencia, pero de una forma más rigurosa ya que debido a la gran limitante que representa la interferencia en éste tipo de sistemas es necesario que la señal de cada móvil llegue a la radiobase aproximadamente con la misma potencia para que alguna no “opaque” a las demás. Sin embargo, ésta característica de control de potencia concede a CDMA el permitir e incluso desear los errores al contrario de TDMA que busca evitarlos y de ser posible llevar una transmisión sin errores. Cuando en CDMA se está realizando una transmisión libre de errores significa que los móviles están transmitiendo con potencias suficientemente fuertes para evitarlos, lo que provoca que nuevos móviles se vean incapaces de acceder al sistema debido a que se están alcanzando los límites de bloqueo suave. Al pasar esto, la radiobase inmediatamente instruye al móvil para reducir su potencia de transmisión e inducir, por tanto, errores hasta alcanzar una FER objetivo. Si la señal se comienza a deteriorar de tal forma que la tasa de FER caiga por debajo de ese objetivo entonces el móvil incrementa su potencia de transmisión. Ésta es la razón por la que TDMA pone más énfasis en la protección de bits y detección de errores como ya se mencionó anteriormente.

A la trama de TDMA se le agregan aparte bits para control y sincronización además que se insertan tres usuarios por trama, lo que lleva a un tamaño de trama de 1944 bits que se transmite a una tasa de 48.6 Kbps.

Cada bit de la trama de CDMA se multiplica por sesenta y cuatro en la codificación de Walsh por lo que la trama se convierte en 24,576 bits (chips). Al contrario de TDMA, los canales de control y supervisión se codifican en canales (y por tanto tramas) diferentes que se multiplexan al final con los demás usuarios para dar como resultado una señal final de 1.2288 Mbps (Mcps).

Como se puede observar del análisis anterior el procesamiento de una señal en TDMA es mucho más sencillo de realizar que en CDMA resultando además en una tasa de transmisión más baja y por lo tanto un ancho de banda menor por canal (30 KHz, tres usuarios por canal) siendo más fácil de manejar en la recepción. Sin embargo, a CDMA le permite manejar más usuarios por canal, 61 en promedio, a costa de un ancho de banda mayor (1.25 MHz.). Para el caso de TDMA, si se utiliza esa misma cantidad de espectro, se tendría la posibilidad de brindarles servicio a alrededor de 122 usuarios al mismo tiempo.

Si bien es cierto que la tasa de transmisión en TDMA es más baja y menos complicada en su procesamiento y detección, en lo referente a los usuarios por canal es sólo un espejismo. Aunque CDMA sólo puede dar servicio a 61 usuarios al mismo tiempo (comparados con los 122 usuarios en TDMA) utilizando 1.25 MHz, éste ancho de banda se puede reutilizar en todas las demás células, cosa que en TDMA sólo se puede realizar en células específicas.

Por otra parte, para el caso particular de nuestro diseño en la ciudad de León, se puede observar que con 15 MHz, TDMA puede dar servicio a 5019 usuarios al mismo tiempo ($(15 \text{ MHz} / 1.25 \text{ MHz}) * 122 \text{ usuarios} * (24/7)$). Por otra parte, con 3.75 MHz CDMA puede dar servicio a 5673 usuarios al mismo tiempo (183 usuarios por radiobase * 31 radiobases). Podemos concluir entonces que CDMA puede acomodar más usuarios por MHz que cualquier otra tecnología. Se aclara que el análisis se realizó tomando en cuenta el número máximo de usuarios teóricos, es decir, sin tomar en cuenta características de transferencia de llamada y bloqueo. Sin embargo, la conclusión a la que se llegó es válida aún tomando en cuenta dichas características.

De lo anterior podemos observar también que, con TDMA, se tuvo que recurrir a la utilización de todo el espectro, 15 MHz, para poder atender a 80,000 usuarios, mientras que con CDMA se tuvo que recurrir a sólo al 25% por ciento de ese espectro, 3.75 MHz, para cubrir la misma población.

Sin embargo, la utilización de menores recursos del espectro tiene un costo. Mientras que TDMA utiliza sólo 24 radiobases, CDMA tiene que utilizar 31 (8 radiobases más), lo que eleva los costos de adquisición e instalación de infraestructura de manera considerable. Se observa también que el costo inicial de inicio de operación es más elevado para CDMA ya que se tiene que iniciar el servicio con 12 radiobases comparadas con las 4 con las que arranca TDMA. El crecimiento en radiobases en los años posteriores se puede considerar muy parecido (en promedio 5 radiobases por año) pero una vez más con la desventaja en CDMA de tener que invertir más dinero en el aumento de portadoras para poder tener una mayor capacidad de manejo de tráfico.

Para el caso del sistema satelital LEO el ancho de banda necesario es de 15.5 MHz requiriéndose 48 satélites, lo que significa una inversión inicial mucho más grande que para los sistemas terrestres; sin embargo, ofrece la ventaja de una cobertura a nivel mundial.

Para el análisis de enlace en la ciudad de León, podemos decir que el valor de potencia isotrópica radiada arrojada es de 5.8405 dB por ha. La potencia isotrópica radiada dada por un satélite Globalstar es de 29 dB por haz, así que podemos concluir que el PIRE proporcionado por el satélite Globalstar es suficiente para cubrir el tráfico calculado en la ciudad de León.

Del análisis de tráfico observamos que 12 troncales son necesarias para nuestro tráfico calculado. Para el sistema Globalstar se tienen 60 haces con 13 canales FDM por lo que el total de troncales disponibles es de 208 troncales los cuales son suficientes para nuestro tráfico.

REHUSO DE FRECUENCIAS VS REHUSO DE SECUENCIAS PN

El diseño en TDMA resulto de un total de 24 radiobases; al usarse un patrón de rechazo de frecuencias de $N = 7$ observamos que las frecuencias se tienen que repetir al menos tres veces lo que lo convierte en una tarea un poco laboriosa para controlar las interferencias que esto provoca. Para controlar la interferencia cocanal las radiobases que utilicen la misma frecuencia deben estar separadas una distancia mínima. Para controlar la interferencia por canal adyacente se debe evitar asignarle canales adyacentes a una célula; es decir, a cada célula se le deben dar canales con separación de frecuencia tan grandes como sea posible.

El diseño en CDMA utiliza un plan de rechazo de secuencias PN cortas como equivalente al plan de rechazo de frecuencias. Como en el caso anterior, se debe elaborar un plan cuidadoso de secuencias PN para evitar interferencias co-PN y PN-adyacente. Para controlar la interferencia co-PN se realiza de igual manera que en el caso de TDMA, es decir, se separan las radiobases una distancia mínima. Sin embargo para la interferencia PN-adyacente la situación cambia, aquí el requisito que se debe cumplir es que la separación entre radiobases debe cumplir una distancia máxima.

Como se observa, un plan de rechazo de frecuencias debe poner un especial énfasis en el manejo del espectro, mientras que un plan de secuencias PN lo debe poner en la separación física de las radiobases. Sin embargo hay que notar que un plan en TDMA permite como un máximo razonable una distribución del espectro entre 7 radiobases, mientras que en CDMA se tienen 512 secuencias (*offsets*) PN para distribuir entre los sectores dando un máximo razonable de 170 radiobases antes de reutilizar las secuencias (para radiobases de tres sectores).

Se hace notar que para ciudades pequeñas o medianas (como el caso de la ciudad de León) es muy sencillo elaborar un plan de secuencias PN. Al utilizarse relativamente pocas radiobases no hay necesidad de reutilizar las secuencias y al separar razonablemente las secuencias en cada sector (ajustando el parámetro `PILOT_INC`) se evita la interferencia adyacente ya que la distancia máxima de separación entre radiobases con PN's adyacentes frecuentemente resulta en cantidades más grandes de lo que miden las ciudades; es decir, se podría dar prácticamente una asignación aleatoria de

dichas secuencias. Sin embargo para ciudades grandes (como México) el manejo de las distancias entre radiobases para CDMA se puede volver mucho más complicado que el manejo del espectro en TDMA.

TRANSFERENCIA DE LLAMADA Y SERVIDOR DOMINANTE

El proceso de transferencia de llamada es de suma importancia en cualquier sistema de servicios PCS y celulares. Existe una diferencia importante en la forma en que TDMA y CDMA manejan la transferencia de llamada. Mientras que TDMA trata de que éstos se lleven a cabo la menor cantidad de veces posibles en CDMA se pone especial énfasis en realizarlos de manera frecuente.

En TDMA la llamada se transfiere de la célula vieja a la nueva y es ésta la que se hace cargo a partir de ése momento, desconectándose el móvil de la radiobase vieja.

CDMA maneja una característica especial llamada transferencia de llamada suave lo que le permite al móvil realizar transferencias de llamadas hasta con tres radiobases diferentes reduciendo así la probabilidad de llamadas caídas. Esto nos lleva a otra característica importante de CDMA. Los móviles que se manejan bajo el estándar IS-95 pueden demodular hasta tres señales diferentes las cuáles correlaciona y las junta en una sola señal más fuerte. Éstas señales pueden provenir tanto de tres radiobases diferentes como de multitrayectorias provenientes de una misma célula o una combinación de ambas, el móvil sólo escoge las tres más fuertes. Sin embargo, el costo de lo anterior es la utilización de mayores recursos en las radiobases ya que un solo móvil puede llegar a utilizar hasta tres canales diferentes al mismo tiempo, reduciendo la capacidad de la radiobase.

La capacidad del móvil en CDMA de poder demodular hasta tres señales diferentes nos lleva a otro problema en particular que TDMA no tiene: la necesidad de establecer un servidor dominante para evitar la contaminación de piloto. El móvil es capaz de "ver" más señales de las que puede demodular las cuáles inducen interferencia al móvil provocando una rápida degradación en la calidad del audio. Es por eso que se deben crear áreas en las cuáles el móvil pueda ver hasta tres radiobases con potencias altas (servidores dominantes) y a las demás las vea con potencias bajas.

Ya que el sistema satelital utiliza CDMA podemos hacer una analogía con el sistema terrestre. Nuestro sistema satelital utiliza las mismas características de transferencia de llamada que nuestro diseño terrestre con CDMA realizando transferencias de llamada entre satélites como equivalente a la transferencia de llamada entre radiobases y transferencias entre haces como equivalente a la transferencia de llamada entre sectores.

SINCRONIZACION

Esta se lleva a cabo de manera diferente para ambas tecnologías. Mientras que para IS-95 es necesario auxiliarse con la sincronización de GPS, debido a que aquí se transmite a una razón de bits (chips) muy alta, con IS - 136.2 la sincronización se lleva a cabo sin la necesidad de dicho sistema, esto implica la independencia del estándar de otro sistema auxiliar para la sincronización. En el caso en que el sistema GPS no funcionara, TDMA seguiría funcionando, mientras que CDMA no funcionaría.

Nuestro sistema satelital utiliza el sistema GPS para ubicación y sincronía.

RELACION E_b/N_0 Y C/N

Una medición importante para CDMA es la medición de la razón de la energía por bit a la densidad espectral de ruido (E_b/N_0). La energía por bit (E_b) se calcula dividiendo la potencia total de la señal (C) entre la tasa de transmisión de bits (R) en el vocoder utilizado. La densidad espectral de ruido (N_0) se calcula dividiendo la potencia total de ruido (N) entre el ancho de banda del canal (W). Véase la figura 5.1.2. Esto se puede expresar de la siguiente manera:

$$E_b/N_0 = (C/R) (N/W) = (C/N) (W/R)$$

El término C/N es simplemente la relación portadora a ruido y el término W/R es llamado la ganancia de procesamiento.

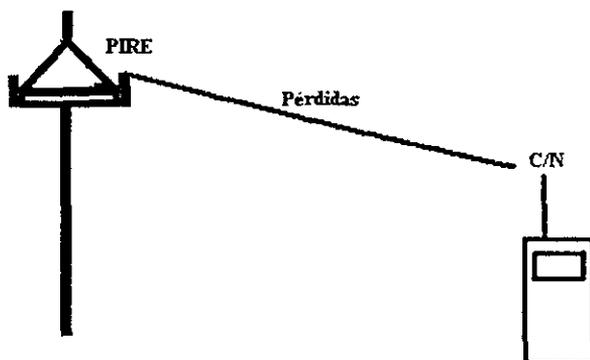


Figura 5.1.2 Medición de la potencia de la señal en la recepción

Para el caso de nuestro diseño con CDMA se tiene que utilizamos un vocoder a una tasa de $R = 9.6$ kbps con un ancho de banda de $BW = 1.25$ MHz obtenemos una ganancia de procesamiento de:

$$BW/R = 21.15 \text{ dB}$$

Al recomendarse para la recepción una E_b/N_0 de 7 dB nos permite obtener una relación señal a ruido de:

$$C/N = -14.15 \text{ dB}$$

Para nuestro diseño en TDMA se tiene que el codificador de ley μ codifica la voz a una tasa de $R = 8$ Kbps con un ancho de banda por canal de 30 KHz para obtener una ganancia de procesamiento de:

$$BW/R = 5.74 \text{ dB}$$

Además, se recomienda que la relación portadora a ruido tenga un valor de TDMA de 17 dB como mínimo para una transmisión aceptable.

De lo anterior observamos que la señal CDMA es mucho más resistente a las degradaciones que introduce el medio ambiente electromagnético, que TDMA. Podemos decir que un sistema en CDMA permite que el ruido pueda ser hasta 26 ($1/10^{-1.415}$) veces más fuerte que la señal (para un vocoder de 9.6 Kbps) y aún así se pueda recuperar la información. Por el contrario, en TDMA la señal debe ser por lo menos 50 ($10^{1.7}$) veces más fuerte que el ruido para que la señal se pueda recuperar. La diferencia estriba en la alta ganancia de procesamiento que tiene CDMA con respecto a TDMA (15.4 dB) lo que le da una gran ventaja para ambientes que están plagados de grandes fuentes de interferencia.

SATELITAL VS CELULAR

El objetivo de incluir en este trabajo de tesis un análisis sobre un sistema satelital de orbita baja es el de complementar el diseño de las redes de TDMA y CDMA. En algunos usuarios el poder establecer una comunicación es primordial para la realización de sus actividades diarias. Un sistema de comunicación móvil satelital es una solución muy efectiva para los usuarios mencionados anteriormente. Un sistema satelital puede proveer una comunicación en cualquier lugar siempre y cuando el receptor se encuentre al aire libre. Esto no quiere decir, al igual que en las redes TDMA y CDMA, que siempre que solicitemos el servicio éste estará disponible ni que se tenga una alta calidad en el enlace, ya que el sistema esta regido por varios parámetros como lo son el tráfico, potencia, clima, etc.

El sistema satelital Globalstar se basa en una tecnología CDMA. Es importante mencionar que también existe un sistema satelital basado en una tecnología TDMA como lo es Iridium. Lo anterior hace evidente que no necesariamente CDMA es una mejor tecnología que TDMA; sino que, dependiendo de las necesidades del usuario, se escoge la más conveniente.

CAPITULO VI CONCLUSIONES

Se tienen las siguientes conclusiones:

- El procesamiento de la señal en TDMA es más sencillo que en CDMA.
- CDMA es mas resistente a la interferencia que TDMA.
- CDMA hace uso del espectro de radiofrecuencia de manera más eficiente que TDMA.
- El implantar una red utilizando TDMA es menos costoso que haciéndolo con CDMA.
- Un plan de rehuso de secuencias PN cortas es, en general, más sencillo de manejar que un plan de rehuso de frecuencias.
- Una transferencia de llamada en CDMA utiliza mas recursos de las radiobases que una transferencia de llamada en TDMA.
- Para la sincronía en CDMA se hace uso de un sistema auxiliar (GPS) mientras que TDMA genera su propia sincronía.
- Un sistema satelital ofrece cobertura casi mundial sin embargo los costos de éste servicio son mucho mayores que para sistemas inalámbricos terrestres.
- Un sistema satelital puede resultar en un gran complemento para redes terrestres en zonas donde el montar infraestructura inalámbrica o alámbrica terrestre resulte muy difícil.
- Resulta mas complicado el expandir la red satelital debido a que no es lo mismo colocar un satélite a colocar una torre.
- Para un sistema satelital debe de existir línea de vista entre el equipo del usuario y el satélite, mientras que en sistemas inalámbricos terrestres no es necesario. Esto se debe a que las señales satelitales están expuestas a más pérdidas debido a las grandes distancias que tiene que recorrer.
- La infraestructura para un sistema satelital es mucho más costosa que para un sistema inalámbrico terrestre.

Si bien existen similitudes entre un sistema satelital y uno celular, no es prudente una comparación estricta entre ambos sistemas, y es que un sistema celular y un sistema satelital se encuentran inmersos en ambientes diferentes. Más bien ambos pueden ser un gran complemento el uno para el otro permitiendo que los sistemas celulares operen en zonas urbanas y los satelitales fuera de ellas; siendo una muy buena solución para tener una cobertura móvil mundial

Sin embargo una alternativa para una cobertura móvil mundial lo representan los sistemas de tercera generación, los cuales tienen como objetivo unificar los sistemas que existen hoy en día. En la actualidad se están realizando estudios que tienen como objetivo: el uso de una banda de frecuencia común mundial tanto para sistemas terrestres como satelitales, el uso de una terminal pequeña con "roaming" mundial, altas capacidades de transmisión, compatibilidad de servicios.

BIBLIOGRAFIA

- Teodore S. Rappaport** [1]
Wireless Communications, Principles & Practice
Prentice Hall
Impreso en los EUA
Julio de 1999
- Manuel F. Cátedra** [2]
Jesús Pérez - Arriaga
Cell Planning for Wireless Communications"
Artech House Publishers
Impreso en los EUA
1999
- TIA/EIA Interim Standard 136.2-A** [3]
- David J. Goodman** [4]
Wireless Personal Communications Systems
Addison Wesley
Agosto de 1997
- Samuel C. Yang** [5]
CDMA RF System Engineering
Artech House
1998
- John Sam Lee; Leonard E. Miller** [6]
CDMA System Engineering Handbook
Mobile Communication Series
Artech House
1998
- Bernard Sklar** [7]
Digital Communication
Prentice Hall
1988
- TIA/EIA IS-95 Standard** [8]
- Michael J. Miller; Branka Vucetic** [9]
Satellite Communications, Mobile and Fixed Services
Kluwer Academic Publishers
1993

G. Maral; M Bousquet [10]
Satellite Communications Systems
Jonh Wiley & Sons
1993

Eduward Hirshfield; Allen Cherrette; Nick Laprade [11]
Globalstar's Performance
Space Technol Vol.19 No 1. Pag 5-38
1999